530.7
H17m
1905
Bd. 4

REMOTE STORAGE

4. Beiheft

zum

Jahrbuch der Hamburgischen Wissenschaftlichen Anstalten.

XXIII. 1905.

Mitteilungen

aus dem

Physikalischen Staatslaboratorium in Hamburg.

Inhalt:

	Seite
Chr. Jensen und *H. Sieveking:* Anwendungen des Mikrophonprinzips	1—64
Dr. *Paul Perlewitz*, wissenschaftlicher Hilfsarbeiter bei der Deutschen Seewarte: Registrierballonaufstiege in Hamburg vom April 1905 bis März 1906. Mit 5 Tafeln und 1 Abbildung im Text	65—92

Hamburg 1906.

Kommissionsverlag von Lucas Gräfe & Sillem.

[illegible]

4. Beiheft

zum

Jahrbuch der Hamburgischen Wissenschaftlichen Anstalten.

XXIII. 1905.

Mitteilungen

aus dem

Physikalischen Staatslaboratorium in Hamburg.

Inhalt:

	Seite
Chr. Jensen und *H. Sieveking:* Anwendungen des Mikrophonprinzips	1—64
Dr. *Paul Perlewitz*, wissenschaftlicher Hilfsarbeiter bei der Deutschen Seewarte: Registrierballonaufstiege in Hamburg vom April 1905 bis März 1906. Mit 5 Tafeln und 1 Abbildung im Text	65—92

Hamburg 1906.

Kommissionsverlag von Lucas Gräfe & Sillem.

THE LIBRARY OF THE

MAR 15 1951

UNIVERSITY OF ILLINOIS

Digitized by the Internet Archive
in 2014

https://archive.org/details/mitteilungenaus1905phys_5

530.7
H17m
1905

REMOTE STORAGE

Anwendungen des Mikrophonprinzips.

Von

Chr. Jensen und *H. Sieveking.*

1. Einführung.

In einer früheren Arbeit haben wir [1]) gezeigt, daß die Eigenschaft loser Kontakte, bei Druckänderungen ihren Widerstand zu ändern (das Mikrophonprinzip), sich erfolgreich anwenden läßt zur Konstruktion eines sehr empfindlichen telegraphischen Relais.

Bereits damals war uns bei der Durchsicht der diesbezüglichen Literatur, speziell der Patentschriften, die mannigfaltige Verwendung des Prinzips in der Technik aufgefallen. Dazu kam, daß die große Bedeutung des Kohärers für die Telegraphie ohne fortlaufende Leitung das Interesse an den Eigenschaften loser Kontakte überhaupt sichtbar neu belebte.

Schon von diesem Gesichtspunkte aus erscheint es uns nützlich, eine, soweit uns bekannt, vorhandene Lücke auszufüllen, indem wir eine Übersicht über die Verwendung des Mikrophonprinzips in Wissenschaft und Technik geben.

Wir verzichten dabei auf den Kohärer, da die denselben betreffende Literatur leicht zugänglich ist.

Betont sei von vornherein, daß es uns in erster Linie um eine Zusammenstellung und nicht so sehr um eine kritische Würdigung zu tun ist, in der Annahme, daß schon eine möglichst genaue Literaturangabe einen guten Anhalt geben kann. Es liegt uns aber wohl daran, bei den vielen Anwendungen, welche das Mikrophonprinzip im Laufe der Jahre erfahren hat, darauf hinzuweisen, daß dies physikalische Prinzip offenbar noch lange nicht genug ausgenutzt ist, da unsere über vervollkommnete mechanische Hilfsmittel verfügende Zeit sicherlich mit Benutzung eben dieses Prinzips aus mancher guten, aber nicht genügend weiter verfolgten Idee früherer Tage einen wirklich brauchbaren Apparat würde schaffen können.

Über den Namen Mikrophon sei nur so viel gesagt, daß derselbe zuerst erdacht wurde von Wheatstone [2]) für ein Instrumentchen, welches

[1]) Drud. Ann. 18 p. 695, 1905.

[2]) Quarterly Journal of Science for 1827 part 2, Nature 18 (1878) p. 356, wo auch eine Abbildung.

gleichsam als metallisches, mit beiden Ohren zu verbindendes Stethoskop dazu berechnet war, durch unmittelbare Berührung mit tönenden Körpern die schwächsten Töne vernehmbar zu machen. Später wurde der Name auf die Erfindungen von Lüdtge und Hughes (1878) angewandt.

2 Widerstandsänderungen durch Druck. Nachweis von Temperaturänderungen.

Die vor allem in der Telephonie ausgenutzte Eigenschaft loser Kontakte gewisser, einem Stromkreis eingefügter Elektrizitätsleiter, bei Druckschwankungen entsprechende Widerstandsveränderungen zu zeigen, ist, worauf auch Th. Schwartze[1]) aufmerksam macht und worauf Sir William Thomson bereits 1878[2]) hinwies, lange vor Lüdtge, Hughes und Edison entdeckt worden. Bereits im Jahre 1856 — wenn wir[3]) zunächst davon absehen wollen, daß die Priorität in gewissem Sinne Mousson (1855) oder gar Munck of Rosenschöld (1835) zukommt — wies Th. du Moncel im ersten Bande der zweiten Ausgabe seiner „Exposé des applications de l'électricité“ deutlich darauf hin, daß der größere oder geringere Druck zwischen Kontaktstücken bei Unterbrechern einen außerordentlichen Einfluß auf die Intensität des sie durchfließenden Stromes ausübt. Wenige Jahre später machte W. Beetz[4]) Versuche mit Platinschwamm und kam dabei — allem Anschein nach, ohne etwas von den Erfahrungen du Moncels zu wissen — zu dem Resultat, „daß nur das Aneinanderdrängen der Teilchen die Ursache der bessern Leitfähigkeit sein könne“. Was du Moncel anbetrifft, so sprach er die Meinung aus, daß die eben genannte Tatsache allerdings öfter dadurch bedingt sein möge, daß die metallischen Kontaktstücke nicht immer blank seien, daß aber doch vielfach der Grund in einer noch unbekannten physikalischen Eigenschaft liege. Du Moncel stellte zur Erzeugung undulatorischer Ströme, um nämlich durch das allmählich vor sich gehende Öffnen und Schließen die Wirkungen der Extraströme herabzumindern[5]), Unterbrecher mit Kohlekontakten her. Im Band 1, p. 263 u. 264 der erwähnten Ausgabe seines Werkes beschrieb er zwei Systeme von Unterbrechern dieser Art, von denen der eine 1856 von M. Pulvermacher konstruiert war. Im Jahre 1872 begann er eine Reihe größerer Untersuchungen über die beim Kontakt der verschiedenartigsten Leiter auftretenden Erscheinungen, wobei er den Widerstand von verschiedenen Kohlen und Metallpulvern feststellte. Gegen Ende des

[1]) Elektrot. Bibl. Bd. 6.

[2]) Nature vol. 18 p. 355—356.

[3]) s. Tanner, Electr. Review vol. 27 p. 612—615.

[4]) Poggend. Ann. 21 (1860) p. 619—621.

[5]) s. auch Lum. él. 7 p. 193—197 u. C. R. 87 p. 131—134 u. 189—191.

Jahres 1865 hatte übrigens schon Clérac[1]) die Veränderung der Leitfähigkeit von Kohlepulvern durch Druck für die Konstruktion eines Widerstandes benutzt, der aus einer mit Graphit oder Kohlenstaub angefüllten Röhre bestand, in welcher ein Kolben durch eine Schraube fortbewegt werden konnte. Durch stärkeres oder geringeres Anziehen der Schraube wurde der Widerstand reguliert. Im Jahre 1873 benutzte Edison[2]) einen Rheostaten, der im wesentlichen aus feinverteilter, in einer Glasröhre eingeschlossener Kohle bestand, der aber wegen Ausdehnung bezw. Zusammenziehung der Röhre keine zuverlässigen Resultate ergab. Für die Zwecke der Doppeltelegraphie konstruierte Edison[3]) einen Widerstand aus 50 Scheiben, welche aus einem durch Anstreichen mit Reißblei erfüllten Seidenzeugstück geschnitten waren und in einem Vulkanitrohr in geeigneter Weise gegen einander gedrückt werden konnten, wobei eine Teilscheibe durch ihre Stellung gegen eine Marke den Grad der Zusammenpressung erkennen ließ. Eine originelle Anwendung des Mikrophonprinzips zur Variation des Widerstandes in einer Leitung machte Reynier[4]), indem er bei einer 100gliedrigen silbernen Kette durch stärkeres oder geringeres Ziehen vermittels einer Hebelvorrichtung die Berührung der einzelnen Glieder mehr oder weniger innig machte. Der ganze Mechanismus diente als Bremsvorrichtung für eine elektrische Lokomotive. Allen erhielt im Jahre 1883 einen Widerstand patentiert, bei dem eine Anzahl von Kohlenscheiben mehr oder weniger zusammengepreßt wurde. Die Widerstandsänderungen der Kohle selbst, welche bei Erwärmung bezw. Abkühlung eintraten, sollten hier durch einen die Kohlenscheiben durchdringenden und die beiden Endplatten verbindenden Metallstab kompensiert werden. Eine in entgegengesetzter Richtung arbeitende Verbindung von Kohle und Metall wählte auch C. W. Siemens[5]) bei seinem für schwächere Ströme bestimmten Widerstand, indem er den Strom durch einen 0,3 mm starken Stahldraht gehen ließ, und durch die von der Stromstärke abhängigen Längenänderungen des Drahtes den Druck variieren ließ, mit dem eine gleichfalls vom Strom durchflossene Säule von Kohlenscheiben in axialer Richtung zusammengepreßt wurde. Kurze Zeit darauf beschrieb Th. W. Engelmann in der Zs. für Instrumentenkunde[6]) eine ebenfalls auf dem Mikrophonprinzip beruhende sogenannte „Widerstandsschraube".

[1]) s. Journal tél. Bd. 2 p. 425, Bd. 4 p. 238, 260, 261 u. 312, Journ. of the Soc. Bd. 12 p. 216.

[2]) Centralbl. f. Elektrot. Bd. 7, S. 540.

[3]) Scientific American, Bd. 39, S. 35 und Dinglers Journal 229, S. 482.

[4]) s. Centralbl. f. Elektr. 4, S. 429—430.

[5]) Proc. Roy. Soc. 28, p. 92—97.

[6]) Bd. 7, S. 333—339; s. auch Zs. f. phys. u. chem. Unt. vol. 1 (1888) p. 170.

Eine solche stellt man nach Engelmanns Angaben am besten so her, daß man sich aus Graphit oder Kohlenpulver und Gelatine Plättchen von — je nach dem Zusatz — beliebig hohem Widerstand und vollkommener Elastizität herstellt. Engelmann erwähnt hier u. a., daß zehn Plättchen von etwa 0,2 mm Dicke und 1 cm Durchmesser, welche, fest zusammengeschraubt, einen minimalen Gesamtwiderstand von 20 Ω hatten, kontinuierliche Abstufungen bis auf mehr als 20000 Ω gestatteten, daß zehn ähnliche, mehr Gelatine enthaltende Plättchen Abstufungen zwischen einigen Hunderten und einigen Hunderttausenden Ω möglich machen.

Nach seinen Angaben folgen die Widerstandsänderungen den Druckschwankungen sehr gleichmäßig, und bleibt ohne Einfluß der letzteren oder störender Erwärmung der Widerstand hinreichend konstant. Mit der Zeit ändert sich indes der Widerstand, da die Gelatine Wasser abgibt. Herr Prof. Engelmann teilte uns freundlichst mit, daß diese Änderungen meist nicht von Bedeutung seien, da der Apparat in erster Linie elektrophysiologischen Zwecken diene und der durchfließende Strom weder lang andauernd noch von nennenswerter Stärke sei. Engelmann wandte mit Vorteil auch Plättchen aus reiner Gaskohle an, die viel stärkere Ströme vertragen, aber auch nicht ganz konstant sind. Da die Widerstände nicht geaicht sind, bedarf man eines strommessenden Instrumentes. Gleichwohl werden diese Widerstandsschrauben, deren vorteilhafte Anordnung in bezug auf Raumersparnis ins Auge fällt, nach Engelmann außer in einigen physikalischen Instituten, u. a. bei Ostwald, in physiologischen Laboratorien, ferner in Holland vielfach in der ärztlichen Praxis verwandt. Benardes[1]) konstruierte einen auf dem gleichen Prinzip beruhenden Rheostaten, bei dem durch Stöpsel die einzelnen Zylinder neben- oder hintereinander geschaltet werden konnten. Erwähnt seien noch der Graphitwiderstand von Askew[2]) und ein von Krebs[3]) zur Demonstration des Mikrophonprinzips konstruierter, dem vorstehenden ähnlicher Apparat.

Eine äußerst interessante Anwendung fand das Mikrophonprinzip in dem von Edison erfundenen[4]) Mikrotasimeter, welches wohl das empfindlichste Instrument für Druckmessungen sein dürfte und welches nicht zu verwechseln ist mit dem Hughesschen Thermophon.[5])

[1]) F. d. Phys. 45 II. p. 657, El. World 13. p. 254, West Electr. 4. p. 232, U.-S. Pat. Nr. 401405.

[2]) F. d. Phys. 45 II. 657, El. World 14. 272, West-Electr. 5. 214. U.-S. Pat. Nr. 412449.

[3]) El. Rdsch. vol. 5 (1888) p. 7—8, Z. f. phys. u. chem. Unt. 1. p. 170.

[4]) Chem. News vol. 38. Nr. 974. p. 56—58, Nature XVIII. p. 368—370, Dingl. Pol. J. Bd. 229 S. 266—267, Naturf. 11. p. 295—296, Sill. J. 38 p. 385, Mondes (2) vol. 46 p. 456—457, Zs. f. phys. u. chem. Unt. vol. 1 (1887) p. 136.

[5]) siehe Dingl. Pol. J. 229 p. 147—152.

Edison benutzte die von ihm entdeckte Tatsache, daß der elektrische Widerstand von dünnen Platten bezw. Kügelchen aus gepreßtem porösem Kohlenstoff, z. B. Lampenruß, mit dem leisesten Druck variiert. Die geringsten Längenänderungen eines auf einen passenden Mikrophonkontakt drückenden Stabes geben sich kund durch den Ausschlag an einem im Mikrophonstromkreis liegenden Galvanometer. Für feinere Messungen wählt man die Wheatstonesche Brückenanordnung. Handelt es sich um Erwärmung des Stabes durch Bestrahlung, so wählt man selbstverständlich ein Material mit möglichst hohem Ausdehnungskoeffizienten. Edison gibt in erster Linie Hartgummi und dann Glimmer an. Handelt es sich um hygrometrische Untersuchungen, so wählt man am besten ein Stäbchen aus harter Gelatine, welches noch die Ausdehnung durch die Feuchtigkeit eines mehrere Zentimeter von ihm entfernten angefeuchteten Papierstückes anzeigen soll. Es läßt sich auch mit Hilfe dieses Prinzips, wie Andrew und Thomas Gray gezeigt haben,[1]) sehr hübsch die Ausdehnung des Eisens durch Magnetisieren nachweisen. Gray schickte den Strom von drei Elementen durch die Spule eines Elektromagneten und beobachtete die Ausdehnung des als Kern dienenden Eisenstabes durch einen bedeutenden Ausschlag des im Mikrophonstromkreis liegenden Galvanometers. Edison verband ein Tasimeter[2]) mit dem Teleskop, projizierte das Bild des Arcturus auf den Hartgummistab und will dabei einen Galvanometerausschlag im Sinne einer Erwärmung erhalten haben, während die Nadel zurückging, wenn das Sternbild verdeckt wurde. Das Nämliche trat nach Edisons Angaben bei dem Rand der Sonnenkorona ein, nur daß dann der Lichtfleck die Skala ganz verließ. An dieser Feinheit sollen die Messungen während der Sonnenfinsternis vom 2. Juli 1878 gescheitert sein, weil es nicht möglich war, den über die ganze Skala hinausweichenden Lichtfleck schnell genug in die Ruhelage zurückzubringen. Heutzutage dürfte nun in dem äußerst empfindlichen Einthovenschen Saitengalvanometer ein Instrument vorliegen, durch welches der eben angedeutete Übelstand vermieden werden könnte. Durch die Herabsetzung der bewegten Masse und des Trägheitsmomentes erfolgt das Zurückkehren in die Nullage nach Aufhören des Stromdurchganges sehr rasch, wovon wir uns ebenso wie von der großen Empfindlichkeit selber haben überzeugen können.[3]) Edison empfahl das Instrument — was neuerdings wieder von H. Kayser in seinem Handbuch der Spektralanalyse angeregt wurde — zum Nachweis der Temperaturverschiedenheiten in den verschiedenen Teilen des Sonnenspektrums. Die bisherige Verwendung desselben im Dienste der Spektral-

[1]) Nature 18 p. 329.
[2]) Sill. J. XVII. p. 52—55, 1879.
[3]) s. Drud. Ann. 12 1903. p. 1059—1071 u. Phys. Zts. 1906. p. 115—122.

forschung scheint allerdings eine kaum nennenswerte zu sein, wenn es auch in Amerika von den Astronomen gelegentlich der Beobachtung von Sonnenfinsternissen benutzt worden ist, um die von den verschiedenen Teilen der Sonnenatmosphäre ausgestrahlte Wärme zu messen. Hierbei sei aber daran erinnert, daß nach Hoorweg[1]) die Wirkung des Lichts auf Ebonit wesentlich den blauen Strahlen zukommt und nicht den eigentlichen Wärmestrahlen, indem sich beispielsweise bei Verwendung des Drummondschen Kalklichtes stets eine kleinere Wirkung im blauen Teil des Spektrums zeigte als im roten.

Daß die Empfindlichkeit des Mikrotasimeters tatsächlich eine enorme ist, wurde übrigens bereits von den amerikanischen Professoren Brackett, Young und Barker[2]) konstatiert, welche Edisons diesbezüglichen Versuchen in Menlopark beiwohnten. Im gleichen Sinne berichtete später Hoorweg[3]). Kürzlich überzeugten auch wir uns von der außerordentlich hohen Empfindlichkeit des Instruments, gleichzeitig aber auch von der großen Unsicherheit in seinen Angaben. Bei dem von uns benutzten Mikrotasimeter war ein Stück von der Kohlenscheibe eines Mix & Genestschen Körnermikrophons zwischen zwei Platinbleche gelegt. Schon die Strahlung der $^1/_2$ bis $^3/_4$ Meter entfernten Hand ließ (ohne die Wheatstonesche Brückenanordnung) eine sehr merkliche Widerstandsabnahme erkennen, so daß sich beim Vergleich mit einer empfindlichen Thermosäule das Mikrotasimeter als mehrfach empfindlicher erwies. Diese Empfindlichkeit war allerdings durch eine ziemliche Unsicherheit in den Angaben erkauft, da wir einen vor Betätigung der Strahlen recht großen, vorhandenen Mikrophonwiderstand wählten.

Über den Einfluß der Größe des Widerstandes auf die Sicherheit des Funktionierens haben wir ausführlich in der auf pag. 1 zitierten Abhandlung berichtet.

Sehr störend machte sich übrigens die Trägheit bei der angegebenen Verwendung des Edisonschen Instruments geltend. Mendelhall[4]) untersuchte genauer die aus gepreßtem Lampenruß bestehende Kohlenplatte eines Edisonschen Mikrotasimeters auf die Veränderlichkeit ihres elektrischen Widerstandes mit dem Druck. Dabei ergab sich, daß der durch Druck veränderte Widerstand in außerordentlicher Weise von der wirkenden Zeit abhängt, indem derselbe unmittelbar nach dem Einsetzen des Druckes schneller und darauf langsamer zu einem Minimum sinkt, während umgekehrt der Widerstand beim Aufhören des Druckes fast

---

[1]) Arch. Néerl. 15 p. 503—505, s. auch Probleme der Gegenwart Bd. 1 p. 112 (Liesegang).

[2]) Chem. News 38 p. 26.

[3]) l. cit.

[4]) Sill. J. (3) 24 p. 43—46, J. de Phys. (2) 2 p. 144—145, 1883.

momentan ein Maximum erreicht. Mendelhall erwähnt ein Beispiel, wo der Widerstand ohne Belastung 11.08 Ω betrug und wo die Belastung des oberen Kontaktstückes mit 100 g gleich nach Aufsetzen des Gewichts 2.34, nach zwei Stunden 2.10 und nach einer Woche 1.93 Ω betrug. Tomlinson [1]) nahm an, daß bei den Edisonschen Pastillen die Widerstandsverminderung durch Druck zum Teil durch besseren Kontakt zwischen den einzelnen Rußpartikelchen bedingt ist, zum Teil durch die Verminderung von einer zwischen den Rußpartikelchen befindlichen Gummischicht. Durch das Vorhandensein einer Gummischicht — wir haben bislang noch nicht Genaueres über die Herstellung der Pastillen erfahren können, halten es aber für wahrscheinlich, daß irgend ein Klebemittel dabei verwandt ist — sucht er hier auch den von Mendelhall gefundenen Einfluß der Zeit zu erklären. Eine zwischen den Kohlepartikeln befindliche Gummischicht könnte auch wohl unseres Erachtens ev. das allmähliche Sinken des Widerstandes bei Belastung verständlich machen, wunderbar erscheint uns aber dabei das sofortige Zurückschnellen bis zum Maximum bei der Entlastung.

Eine Verbindung des Mikrotasimeters mit dem Metallthermometer versuchte A. W. Adams [2]), indem er die durch Erwärmung bedingten Längenänderungen einer aus zwei aufeinander gelöteten Stahl- und Messingstreifen bestehenden Spirale zur Variation des auf ein Gemenge von Graphitpulver, Gaskohle und Silberstaub ausgeübten Druckes ausnutzte und die entsprechenden Stromschwankungen durch einen elektromagnetischen Registrierapparat auf berußtem Papier aufschreiben ließ. Wie wir aus Liesegang (l. c. p. 112 und 113) entnehmen, haben Edison und später Michelson [3]) das Mikrotasimeter in der Weise modifiziert, daß sie den Ebonit als dünne Membran verwandten und auf der Rückseite mit einer Metallschicht belegten. Durch die starke Differenz im Ausdehnungsvermögen entstanden starke Durchbiegungen, deren Druckwirkung sich auf den direkt hinter der belichteten Stelle liegenden Kohlenkontakt übertrug. In erster Linie scheint übrigens Michelson statt der mikrophonischen Wirkung die durch die Durchbiegung vermittelte Drehung eines an einem Kokonfaden hängenden Spiegels für seine Messungen benutzt zu haben. Hier könnte wohl auch der J. Robinsohn im Jahre 1890 [4]) patentierte Apparat zum Anzeigen bezw. Messen der Phosphoreszenz genannt werden [5]), indem bei demselben die vom phosphoreszierenden

---

[1]) Phil. Mag. (5) vol. 22 p. 442—445.

[2]) Zentralz. f. Opt. u. Mech. 1881. S. 166.

[3]) J. de Phys. (2) 1 p. 183—186, Mondes (3) 2 p. 142, Rev. scient. 29 p. 474, F. d. Phys. 38 II p. 287—288, Beibl. d. Phys. 6 p. 581.

[4]) Patent Nr. 56 246.

[5]) F. d. Phys. 47 II p. 100, Zs. f. Instr. 11 p. 420.

Körper ausgehenden Strahlen auf eine sehr empfindliche Selenplatte fallen, welche dadurch erwärmt werden und die erhaltene Wärme einer Spiralfeder mitteilen soll, welche nunmehr auf mechanischem Wege auf einen Mikrophonkontakt wirkt, bezw. bei stärkeren Wirkungen ein Zeigerwerk betätigen soll.

3. Sonometer und Induktionswage.

Ein äußerst sinnreiches und dabei einfaches das Mikrophonprinzip benutzendes Instrument ist das von Hughes [1]) erfundene Sonometer oder Audiometer zur Prüfung des Hörvermögens. Die Anwendung desselben beruht darauf, daß ein durch die Schalleinwirkung auf ein Mikrophon hervorgerufener variabler Strom induzierend wirkt auf eine mit einem Telephon verbundene und auf einer graduierten Stange verschiebbare Spule. Der induzierende Strom durchfließt zwei Spulen, welche so gewickelt sind, daß die von ihnen in der zwischen ihnen befindlichen verschiebbaren Spule induzierten Ströme entgegengesetzt gerichtet sind. Je nach der Empfindlichkeit des Ohres wird nun unter sonst gleichen Umständen diejenige Stellung der verschiebbaren Spule variieren, bei der man nichts mehr im Telephon vernimmt.[2]) Hughes führte mit diesem Instrument sehr interessante Versuche aus, bei denen sich beispielsweise herausstellte, daß man bei einer allmählichen Abnahme der Tonstärke erheblich besser imstande ist, schwächere Töne wahrzunehmen, als wenn man unvermittelt von einem starken zu einem sehr schwachen Ton übergehen würde, daß das linke und das rechte Ohr im allgemeinen eine verschiedene Empfindlichkeit besitzen, daß diese Empfindlichkeit in hohem Grade vom Allgemeinbefinden abhängt usw. Auch B. W. Richardson stellte Versuche mit dem Audiometer an,[3]) bei denen sich beispielsweise herausstellte, daß die Empfindlichkeit des Ohres durch den Barometerstand bedingt ist. Derselbe benutzte auch das Sonometer in Verbindung mit einem von Pond angegebenen Sphygmographen zur Messung des Pulses. Das Audiometer wurde von Hughes vielfach in Verbindung mit der von ihm konstruierten Induktionswage benutzt. Der Grundgedanke derselben war nicht neu, indem bereits M. Dove einen Apparat konstruiert hatte, in welchem zwei getrennte Induktionsrollen, von denen jede eine primäre und eine sekundäre Wickelung hatte, derart miteinander verbunden waren, daß der in der einen Spule induzierte Strom durch den in der andern induzierten neutralisiert wurde. Den Anstoß zur Fruchtbarmachung dieses Prinzips erhielt Hughes durch seine Mikrophonexperimente,

---

[1]) Mondes (2) 49 p. 407—411; s. auch J. H. Poynting: On the graduation of the Sonometer, Phil. Mag. (5) vol. 9 p. 59—64.

[2]) s. Centralbl. f. Elektrot. Bd. 1 p. 290—294, Dingl. J. Bd. 270 p. 467.

[3]) Proc. of the Lond. Roy. Soc. vol. 29 (1879) p. 65—70 und Nature 19 p. 102—103.

welche ihm die enorme Empfindlichkeit des Telephons für kleine induzierte Ströme zeigte. So benutzte er das Mikrophon, um in diesem Apparat Ströme von veränderlicher Intensität zu erzeugen.[1]) Über die Vorstudien zu diesem Apparat wird in Lum. él. vol. 1 p. 54—58, Nature 19, p. 77 und 20 p. 373—375, Beibl. d. Phys. 3 p. 647—648, Fortschr. d. Phys. 35 p. 833—835 und C. R. 88 p. 122—124 berichtet. Ließ Hughes bei Benutzung seiner Induktionswage das Ticken einer Uhr auf das in den induzierenden Stromkreis eingeschaltete Mikrophon wirken, so war bei richtiger Abgleichung der Spulen gegeneinander in dem im induzierten Stromkreis liegenden Telephon nichts zu hören. Sobald er aber das winzigste Metallstück in das Innere der einen induzierenden Spule brachte, wurde das Uhrticken vernehmlich. Die Stärke des nun erfolgenden Geräusches richtete sich in sehr ausgeprägter Weise nach der Art und den Dimensionen des angewandten Leiters, nach der Temperatur desselben und der Lage desselben zu den Windungen, und Hughes hoffte, durch ziffernmäßige Feststellungen interessante Aufschlüsse über die Eigenschaften der verschiedenen Metalle zu bekommen. Ein Umschalter gestattete es, den durch das Telephon fließenden Strom nach Belieben in raschem Wechsel durch die Induktionswage oder ein Audiometer zu senden, um so durch Aufsuchung derjenigen Stelle beim Audiometer, wo gleiche Schallstärke herrschte wie bei Verbindung mit der Induktionswage, ein Maß für die durch das Metallstück hervorgebrachte Störung zu gewinnen. Eine solche Abschätzung der gleichen Stärke ist jedoch sehr schwierig, und man kann daher von den auf diese Weise ausgeführten Messungen keine zu große Genauigkeit erwarten. Übrigens wandte Hughes auch noch eine andere empfindlichere Messungsmethode, eine sogenannte Nullmethode, an, indem die Störung des einen Rollenpaares kompensiert wurde durch ein in Form eines sehr spitzen Keils beschnittenes Zinkblech, welches sich zwischen dem andern Rollenpaar ziffernmäßig angebbar verschieben ließ. Die Wage war ganz ungemein empfindlich und gestattete, die minimalsten Beimengungen des zu untersuchenden Metalles zu konstatieren. Auch untersuchte Hughes damit die Wirkungen der verschiedensten physikalischen Agentien auf die Leitfähigkeit, so beispielsweise diejenige der Erwärmung, der Belichtung, des Druckes. Was übrigens die von Hughes bei der Verwendung gleichdimensionierter Metalle gefundenen Werte, die sogenannten „Störungswerte“, betrifft, so stimmen dieselben, worauf schon gleich hernach Chandler Roberts[2]) hinwies, keineswegs genau mit den entsprechenden, nach der gewöhnlichen

[1]) s. Proc. of the Lond. Roy. Soc. 29 (1879) p. 56—65, Proc. Phys. Soc. 3 p. 81—89, Phil. Mag. (5) 8 p. 50—56, Zentralbl. f. Elektrot. Bd. 1 p. 290—294, Mascart u. Joubert, Elektrizität u. Magnetismus, übers. v. Leop. Levy 1888 Bd. 2 p. 361—366.

[2]) Phil. Mag. (5) vol. 8 p. 57—60.

Methode bestimmten Leitfähigkeitswerten überein. Roberts untersuchte auf die nämliche Weise Legierungen von Blei und Zinn, Silber und Gold, Kupfer und Zinn, wobei er fand, daß sich die erstgenannten den Mathiessenschen Leitfähigkeitskurven gut anschlossen, dagegen die Kupfer-Zinnlegierungen nicht. J. Bergmann[1]) prüfte die beiden von Hughes vorgeschlagenen Methoden, fand dieselben aber wenig geeignet für quantitative Messungen. So enorm empfindlich die Methoden nämlich sind, so leiden sie zum großen Teil an dem Übelstande, daß die Gesetze des Stromverlaufes in körperlichen Leitern nicht bekannt genug sind; auch ist es schwer, das völlige Verschwinden der Töne zu erreichen. In Gemeinschaft mit Oberbeck[2]) hat nun Bergmann versucht, den Apparat für exakte Messungen umzugestalten, was ihm aber nur für die Messung der Leitfähigkeiten sehr dünner Platten gelang. An Stelle des Telephons trat dabei ein Elektrodynamometer, an Stelle des Mikrophons ein von Bernstein angegebener akustischer Stromunterbrecher. Es mag schließlich noch erwähnt werden, daß es M. Wien[3]) gelungen ist, die Leitfähigkeit zweier Metalle von beliebiger, aber gleicher Dimension und Form, miteinander zu vergleichen und ferner auch — bei Verwendung von Kugelform und Form runder Scheiben — die Leitfähigkeit nur aus den Dimensionen des zu prüfenden Materials und der Wirkung auf die Induktionswage zu bestimmen. Dabei wurde allerdings auch kein Mikrophon benutzt, sondern statt dessen eine Wechselstrommaschine oder ein Sinusinduktor. Auch ist die prinzipielle Anordnung eine total andere als bei dem Hughesschen Apparat, insofern als Wien eine Wheatstonesche Brückenanordnung mit zwei induktionslosen Widerständen und zwei Rollen benutzt, indem er erst das Gleichgewicht in der Brücke herstellt[4]), dann durch Annäherung des zu prüfenden Leiters an die eine Rolle das Gleichgewicht stört und nun wieder durch entsprechende Änderung der drei übrigen Zweige Stromlosigkeit herstellt.

An das Sonometer erinnert ein 1892 von de Place[5]) angegebener, „Schiséophone“ genannter Apparat. Derselbe bezweckt, Metallplatten etc. bezw. andere Materialien auf Sprünge, Risse, Hohlräume und dergl. zu untersuchen. Die Metalle werden durch einen Schlagbolzen angeschlagen, und der dabei hervorgebrachte und je nach der verschiedenen Beschaffenheit wechselnde Ton wird durch ein Mikrophon dem Telephon im induzierten Stromkreis übermittelt. Inhomogenitäten irgendwelcher Art sollen sich nun durch Änderung der Schallstärke im Telephon erkennen lassen.

---

[1]) Untersuch. üb. die Hughessche Induktionswage, Dissert. Halle 1885.

[2]) Wied. Ann. 31 p. 792—812.

[3]) Wied. Ann. 49 p. 306—346.

[4]) Maxwell, Elektr. u. Magn. 2 § 757.

[5]) C. R. 115 p. 582—584, F. d. Phys. 48II p. 526—527.

Man verschiebt die mit dem Telephon verbundene Spule auf einer graduierten Stange, bis das Telephon nahezu schweigt, und erhält so ein gewisses Maß. De Place hat aber offenbar darin recht, daß die hierdurch gegebene Distanz zwischen den beiden Spulen variabel ist je nach der Übung und der Empfindlichkeit des Ohres. Gleichwohl hat sich[1]) die von de Place angegebene Methode sowohl zu Untersuchungen von Eisenbahnschienen als auch von Hartgußgranaten und anderen Hohlgeschossen auf Materialfehler ausgezeichnet bewährt. Bei den von der französischen Nordbahn angestellten Untersuchungen beispielsweise stellte sich heraus, daß eine Änderung des durch den Bolzen verursachten Geräusches unverzüglich eintrat, sobald der Bolzen an eine fehlerhafte Stelle der unter ihm auf Walzen vorübergeführten Schiene gelangte. Selbstverständlich saß der prüfende Beamte in einem weit vom arbeitenden Bolzen entfernten, möglichst geräuschlosen Beobachtungsraum und signalisierte, sobald sich im Telephon eine Änderung gegenüber dem normalen Ton bemerkbar machte.

4. Akustische bezw. elektroakustische Untersuchungen.

Zur Lösung akustischer Fragen wurde das Mikrophon von A. Oberbeck bei seinen Untersuchungen über die Schallstärke[2]) und von Stern zu relativen Tonstärkemessungen[3]) verwandt. Oberbeck stützte seine Untersuchungen auf die von Hughes beobachtete Tatsache, daß der mittlere Widerstand der Kontaktstelle eines Mikrophons während der Erregung durch Schwingungen größer ist als im ruhenden Zustande. Er schaltete das Mikrophon in den einen Zweig einer Wheatstoneschen Brücke und maß den Ausschlag des Galvanometers bei der Erregung, der bei richtiger Einstellung nach der Erregung wieder verschwand. Man kann nun nach Oberbeck erreichen, daß die Ausschläge proportional der Schallstärke werden. Als Schallquelle dienten herabfallende Kugeln von verschiedenem Gewicht bei veränderter Fallhöhe, ferner eine Pfeife, die bei verschiedener Windstärke angeblasen wurde. G. Stern[4]) und später H. Sieveking und A. Behm[5]) suchten mit Hilfe des Mikrophons die Frage nach der Schallverteilung in geschlossenen Räumen zu lösen. Der Nachweis von Maximis und Minimis ist unschwer zu führen. Doch sind die Störungen durch Reflexion an Wänden und Boden nicht zu eliminieren; sogar auf einem Platz von 10000 qm Fläche waren die in diesem Fall durch Resonanz

---

[1]) F. d. Phys. 51 II p. 752, La Revue Technique vom 10. April 1895, Zs. f. Elektrot. 13 p. 488 u. E. T. Z. vol. 16 p. 308.

[2]) Wied. Ann. 13 p. 222—254.

[3]) Wied. Ann. 42 p. 622—638.

[4]) Stern, Wied. Ann. 42 p. 622. 1891.

[5]) H. Sieveking und A. Behm, Drud. Ann. 15 p. 793. 1904.

einer Stimmgabel konstatierten Knoten und Bäuche unregelmäßig verteilt. Vor einigen Jahren wurden von J. Frhr. v. Hornstein [1]) mit Benutzung eines Kohlenkörnermikrophons Versuche über die Schallstärke angestellt. Leider sind die Messungen durch Reflexionen, Interferenz und den Einfluß der Eigentöne sehr gestört worden, so daß sich beispielsweise bei Variation der Entfernung zwischen Mikrophon und Tonquelle (Pfeifen) eine ganz unregelmäßige Ab- und Zunahme der Tonstärke herausstellte. Einige interessante Resultate ergaben sich jedoch bezüglich der Stärkung bezw. Schwächung des Schalles durch verschiedene Medien.

Eine weitere Anwendung des Mikrophonprinzips auf die physikalische Forschung machte J. Tuma, indem er [2]) die Schwebungen zweier Stimmgabeln durch mikrophonische Übertragung beobachtete. Brachte er die eine Stimmgabel in einen völlig abgeschlossenen Raum, aus welchem sich die Luft auspumpen ließ, so konnte er in sehr zweckmäßiger Weise den Einfluß des Luftdrucks auf die Schwingungszahl studieren. — O. Lummer [3]) verwandte das Mikrophon für eine sehr empfindliche Klanganalyse. Es handelte sich um den Nachweis objektiver Kombinationstöne, welche nach der Helmholtzschen Theorie beim lauten Tönen mehrerer Tonquellen entstehen müssen. Nun kann man aber, wenn man die bekannten Resonatoren ans Ohr legt, dadurch einer Täuschung ausgesetzt werden, daß — wie Helmholtz nachgewiesen hat —, durch das unsymmetrisch gebaute Trommelfell bedingt, sogenannte subjektive Töne entstehen können, welche verstärkt im Ohrresonator erscheinen können, da sich die Luftmasse im Resonator dem schwingenden Trommelfell anpassen kann. Man muß sich also, wenn man Töne objektiv konstatieren will, nach dieser Richtung vom eigenen Ohr unabhängig machen. Bekannt genug ist die Sichtbarmachung der im Resonator mitschwingenden Luftmasse durch eine Königsche Flammenkapsel. Diese Methode hat aber den Übelstand, daß eine relativ große Intensität des nachzuweisenden Tones erforderlich ist. Lummer läßt daher die im Resonator entstehenden Schwingungen auf eine mit einem Kohlekontakt versehene und im belasteten Zustande auf den Eigenton des Resonators abgestimmte Membran wirken. Die entsprechenden Widerstandsschwankungen im Mikrophon werden nun an einem beliebig weit entfernten Ort — so daß man also bei der Untersuchung der Kombinationstöne von den Grundtönen nicht beeinflußt zu werden braucht — in einem Siemensschen Telephon als Ton vernommen. Wie empfindlich diese Methode ist, geht daraus hervor, daß nach Lummer eine auf den Resonator abgestimmte, vor der Öffnung

[1]) Inaug.-Diss. Tübingen 1899, Beibl. 26 p. 656—657 u. F. d. Phys. 58 I p. 479.

[2]) Wien. Anz. 1889 p. 178, Wien. Ber. 98 (2 a) p. 1028, Exners Repert. 26 p. 350 u. f., E. T. Z. 11 p. 439, Hoppes Arch. (2) Bd. 9 Heft 1.

[3]) Verhandl. d. phys. Ges. i. Berl. 1886 p. 66—69.

desselben gehaltene, schwachtönende Stimmgabel im Telephon einen im ganzen Vorlesungszimmer hörbaren, scharfen Ton erzeugte. Sollte es bei diesen oder ähnlichen Versuchen auf die äußerste Empfindlichkeit ankommen, so könnte man wohl noch einen Schritt weiter gehen und ein besonderes, mit auf den Eigenton des Resonators abgestimmter Membran versehenes Telephon anwenden. Vielleicht wird sich auch diese Methode mit Vorteil zum Nachweis radiophonischer Töne vor einem großen Auditorium benutzen lassen. — Vor einigen Jahren hat H. Zwaardemaker[1]) eine Methode zur Erzeugung eines Unterbrechungstones mit Benutzung des Mikrophons angegeben. Die primäre Leitung einer Induktionsspule enthält das Mikrophon, auf welches der Hauptton, dessen Höhe man verschieden wählen kann, übertragen wird. In der sekundären Leitung liegt das Telephon, durch welches man bei gewöhnlicher Schaltung den Hauptton wahrnehmen würde. Nun kann aber diese sekundäre Leitung durch eine elektrisch betriebene Stimmgabel 64mal in der Sekunde geöffnet und geschlossen werden, so daß man bei Beeinflussung des Mikrophons durch den Hauptton einen Unterbrechungston von 64 Schwingungen pro Sekunde erhält. Zwaardemaker hat nun Untersuchungen angestellt bei verschiedener Höhe und Stärke des Haupttones.

Eine fernere, bemerkenswerte Anwendung des Mikrophons auf die physikalische Forschung machte E. Fossati[2]), indem er die Bauch- und Knotenstellen stehender Wellen in zylindrischen Gefäßen nachwies. Ein kleines Mikrophon wurde in die Zylinderröhre gesenkt. An der Stelle eines Bauches, wo die vibrierende Bewegung ihr Maximum erreicht, bewirkte die entsprechende Widerstandsschwankung im Mikrophon in dem im Stromkreis eingeschalteten Telephon ein lebhaftes knisterndes Geräusch, wogegen das Telephon schwieg, wenn sich das Mikrophon in einem Knotenpunkt bezw. einer Knotenebene befand. Fossati demonstrierte einem größeren Auditorium das Vorhandensein von Knoten und Bäuchen im verdunkelten Raume, indem an der einen Stelle lebhafte Funken zwischen den Kohlenstücken übergingen, wogegen sie an der anderen fehlten. Die Originalarbeit in dem Nuov. Cim. war uns leider nicht zugänglich. In die Lum. él. hat sich sicherlich ein Versehen eingeschlichen, indem dort berichtet wird, daß die Funken sichtbar werden bei den Knotenstellen und daß dieselben verlöschen, wenn sich das Mikrophon am Wellenbauche befindet. Das Umgekehrte ist offenbar zu erwarten.

Äußerst interessant ist auch die Verwendung des Mikrophons zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit, wie sie kürzlich auf Vorschlag

[1]) F. d. Phys. 56 I p. 352, Arch. f. Phys. 1900, Supplementbd. p. 60—67.

[2]) Nuov. Cim. vol. 17 (1886) p. 261, Lum. él. 23 p. 283.

von Michelson von Thos. C. Hebb[1]) ausgeführt wurde. Hierzu benutzte Hebb zwei parabolische Hohlspiegel, von denen der eine einen festen Standpunkt hatte, wogegen der zweite, koaxial mit dem ersten aufgestellte parallel verschoben werden konnte. Im Brennpunkt des festen Spiegels befand sich die Tonquelle, deren Schwingungszahl möglichst genau bestimmt wurde. Dicht daneben befand sich das Mikrophon, während sich ein zweiter Telephonübertrager im Brennpunkt des beweglichen Spiegels befand. Die direkten von der Tonquelle ausgehenden Schallwellen wirkten auf das erste Mikrophon, die vom zweiten Spiegel reflektierten auf das zweite. Nun war jedes Mikrophon mit einer Batterie und einer Primärspule einer Induktionsrolle, welche zwei Primärspulen besaß, in Serie geschaltet. Die den beiden Primärspulen gemeinsame Sekundärspule war mit einem Empfangstelephon verbunden, so daß letzteres von den auf beide Mikrophone ausgeübten Wirkungen beeinflußt wurde. Waren nun die Schwingungsphasen der auf die beiden Mikrophone treffenden Schallwellen einander gleich, so mußte eine Verstärkung des durch das Empfangstelephon wahrgenommenen Tones eintreten, wogegen aus entgegengesetzter Phase eine Schwächung bezw. Aufhebung des Tones resultieren mußte. Es ist ohne weiteres ersichtlich, daß die Größe der Phasendifferenz von der gegenseitigen Entfernung der Hohlspiegel abhing. Hebb suchte nun durch Verschiebung die Minima der auf das Empfangstelephon ausgeübten Wirkung auf. Aus der Differenz der zwei Minimis entsprechenden Stellungen war nun, da die Zahl der Wellen bekannt war, die Wellenlänge zu messen, so daß sich aus dieser und der Schwingungszahl der benutzten Tonquelle mit großer Genauigkeit die Schallgeschwindigkeit ergab, und zwar zu 331,29 m bei einem wahrscheinlichen mittleren Fehler von 0,04.

Bei ihren radiophonischen Untersuchungen verwandten Bell und Preece das Mikrophonprinzip zur Entscheidung der Frage, ob bei den radiophonischen Empfängern das intermittierend belichtete Diaphragma selber der Lichtintermittenz entsprechend vibriert oder nicht.[2])

R. Appleyard[3]) betreibt, um die Veränderung von Klangfarbe und Tonhöhe durch das bei den gewöhnlichen elektromagnetisch betriebenen Stimmgabeln vorhandene Kontaktstück zu vermeiden,[4]) Stimmgabeln elektromagnetisch mittels eines Mikrophons, indem das im Stromkreis des Elektromagneten befindliche Mikrophon und die Stimmgabel auf dem nämlichen Resonanzboden angebracht sind. Die Pole des Elektromagneten stehen den Gabelzinken gegenüber. Das Mikrophon verändert

[1]) The Phys. Review vol. 20 (1905) p. 89—99.
[2]) Lum. él. vol. 3 p. 297—300, vol. 4 p. 36—37, E. T. Z. vol. 2 p. 198—203.
[3]) F. d. Phys. 46 I p. 507, E. T. Z. 11 (1890) p. 103.
[4]) s. H. Sieveking u. A. Behm, Drudes Ann. 15. 795. 1904.

nun in Übereinstimmung mit den Schwingungen der Stimmgabel die Stromstärke des die Stimmgabel beeinflussenden Elektromagneten, so daß man beliebig lange die Gabel tönen lassen kann. Bei der Analysierung dieser Vorgänge würde man natürlich berücksichtigen müssen, daß eine Veränderung des Mikrophonwiderstandes die Stromstärke in den Elektromagnetwindungen verändert und die so veränderte Stromstärke wiederum eine Variation im Mikrophonwiderstand hervorbringt. Auch dürften die Schwingungen der Gabel induzierend auf den Elektromagneten wirken. Eine solche gegenseitige Beeinflussung von Stromschwankungen und Widerstandsschwankungen soll nach der Elektrotechnischen Zeitschrift 1891 von wesentlichem Belang sein bei einem von Eisenmann in der Urania vorgeführten elektrischen Klavier, welches eben dadurch den großen Vorteil vor Klavieren mit mechanischem Anschlag hat, daß wie bei den eben erwähnten Stimmgabeln die Töne beliebig lange in ungeschwächter Kraft angehalten werden können. Batterie, Kontakte, Mikrophone und die die Saiten magnetisch beeinflussenden Elektromagnete liegen in einem Stromkreis. Durch das Hinunterdrücken einer Taste schließt man den entsprechenden Kontakt, und Elektromagnet und Mikrophon werden vom Strom durchflossen. Die entsprechende Saite wird angezogen und gerät in Schwingungen, welche [1]) induzierend auf den Elektromagneten einwirken und dadurch Stromschwankungen hervorrufen, die den Mikrophonwiderstand entsprechend verändern. Nach dem Referenten in der E. T. Z. vergrößern diese Widerstandsschwankungen wieder die Stromschwankungen, wodurch dann wiederum die Schwingungen der Saite eine Vergrößerung erfahren.

Derartige oder vielmehr ähnliche gegenseitige Beeinflussungen von Mikrophonen und Empfangsapparaten (Telephonen) sind schon bald nach der Erfindung des Mikrophons von Hughes [2]) beobachtet worden. Ähnliche Beobachtungen machten später Hibbard und Pickernell [3]) von der American Telephone and Telegraph Company. Diese Erscheinungen bestehen darin, daß häufig laute und schrille Töne entstehen, wenn man das Empfangstelephon in die Nähe des Mundstücks vom Sender bringt, und werden dadurch erklärt, daß die auf irgend eine Weise in Schwingung versetzte Empfangstelephonplatte die zwischen Mikrophon und Telephon befindliche Luftschicht in entsprechende Schwingungen versetzt, welche nun ihrerseits Widerstandsänderungen im Mikrophon hervorrufen, welch letztere durch den primären und sekundären Kreis auf das Telephon wirken,

[1]) s. E. T. Z. 1890 p. 211, s. auch E. T. Z. 11 (1890) p. 585 über G. Breeds Erzeugung musikalischer Töne auf elektrischem Wege.

[2]) s. darüber Lockwood. Electr. World 28 (1896) p. 596—597 u. Phil. Mag. (5) vol. 6, p. 49.

[3]) F. d. Phys. 46II p. 707, Amer. Electr. Rev. 1890, Electric. New York 10 p. 246, Electric. London 25 p. 540, E. T. Z. 11 p. 537; s. auch Lockwood l. cit.

und so fort.[1]) Dieses durch die nahe Gegenüberstellung von Mikrophon und Telephon hervorgerufene laute Tönen soll sich zwar oft im Telephonbetriebe in störender Weise bemerkbar machen, andererseits aber scheint es nicht ausgeschlossen zu sein, daß die auf diesem Prinzip beruhenden Wellenströme noch Bedeutung für Praxis und Wissenschaft erhalten werden.[2]) Nachdem die Firma Siemens & Halske[3]) vor einigen Jahren in ihrem Mikrophonsummer die vermittelnde Luftstrecke dadurch fortfallen ließ, daß der sekundär angeschlossene Elektromagnet unter die eiserne Membran des Mikrophons gesetzt wurde, haben v. Lieben u. Reiß[4]) zur Steigerung der Wirkung die Schaltung dadurch vereinfacht, daß sie die Transformation fortließen und das mit einer Eisenscheibe von 0,1 mm Dicke versehene Berlinersche Mikrophon und den dem Mikrophon gegenüberstehenden Elektromagneten in den nämlichen Stromkreis einschalteten. Aus ihren weiteren Untersuchungen ergab sich, daß die Schwingungszahl des Wellenstromes, d. h. also die Höhe des so produzierten Tones, sehr wesentlich von der im Stromkreise herrschenden Selbstinduktion abhängt. Bei ihrer Versuchsanordnung, die sie so getroffen hatten, daß eine Reihe verschiedener Selbstinduktionsspulen abwechselnd in den Mikrophonstromkreis eingeschaltet werden konnte, fanden sie schließlich, daß die Grenzen, innerhalb deren die Schwingungszahlen leicht variiert werden können, ungefähr 300 bis 1000 pro Sekunde betragen. In dieser leichten Variationsmöglichkeit und dem sinusförmigen Charakter der Stromschwingungen sehen v. Lieben u. Reiß mit Recht große Vorzüge gegenüber den Stimmgabel- und Saitenunterbrechern und erhoffen eine Verwendbarkeit ihres Prinzips nicht nur für meßtechnische Zwecke, sondern auch im Dienste der Multiplextelegraphie.

5. Verwendung zu medizinischen Zwecken.

Vielfach hat man versucht, das Mikrophonprinzip in den Dienst der ärztlichen Wissenschaft zu stellen[5]), und ebenso hat es bei physiologischen Arbeiten gute Dienste geleistet.

Schon 1878 legten Chardin und Berjot[6]) der französischen Akademie der Wissenschaften durch du Moncel einen Apparat zur Auffindung von

---

[1]) s. auch Lüdtge, Dingl. Polyt. Journ. vol. 232 p. 234, M. Karsten, E. T. Z. vol. 8 p. 299—300 u. Lum. El. vol. 25 p. 137—138 und Deckerts diesbezügl. Beobachtungen E. T. Z. 13 p. 489.

[2]) s. R. v. Lieben u. R. Reiß, E. T. Z. 24 p. 497, F. d. Phys. 59II p. 224, Beibl. d. Phys. 27 p. [137], Vierteljahresschr. d. Wien. V. z. Förd. d. phys. u. chem. Unt. 1903 p. 72—73.

[3]) Nach d. E. T. Z. Deutsche Patentschr. 107839.

[4]) l. cit. Erregung von Wellenströmen durch eine Mikrophonanordnung.

[5]) s. dazu Elektrot. Bibliothek Bd. 18 p. 356—365.

[6]) C. R. 87 p. 271.

Blasensteinen vor, dessen Idee von Hughes und H. Thompson[1]) herrührte. Das Wesen derselben beruht in der Einführung einer Sonde in die Blase; mit der Sonde ist in geeigneter Weise ein Mikrophon verbunden. Sobald die Sonde gegen einen Stein stieß, sollte sich in einem in geeigneter Weise mit dem Mikrophon in Verbindung stehenden Telephon ein eigenartiger Ton kundgeben. Chardin und Prayer vervollkommneten dies Instrument, so daß es mit allen möglichen Sonden, Wundsonden, Uterussonden, Schlundsonden usw. versehen werden konnte. Auch zur Untersuchung von Muskelbewegungen wurde das Mikrophonprinzip verwandt.[2]) Ladendorf[3]) verband das Stethoskop mit dem Mikrophon, S. Th. Stein gab dem Instrument eine praktischere Anordnung[4]). Ducretet konstruierte ein sehr empfindliches mikrophonisches Stethoskop[5]), mittels dessen durch mehrere Telephone zugleich die schwächsten Puls- oder Herzschläge wahrgenommen werden konnten. Bei diesem Apparat wurden zwei Mareysche Trommeln[6]) verwandt, welche die leisesten Bewegungen auf das Mikrophon übertrugen. M. Boudet[7]) gab dem Mikrophon in seinen Apparaten für medizinische und physiologische Studien eine besonders große Empfindlichkeit. Seinen Mikrophonsprecher benutzte er zur Analysierung der in der Sprache vorkommenden Schwingungen[8]), wobei bemerkt sei, daß neuerdings Blondel seine verbesserten Oszillographen[9]) zur Vokalanalyse benutzt hat und daß kurz darauf Hartmann-Kempf[10]) derartige Analysen ausführte, indem er auf den Rand der im Mikrophonstromkreis liegenden Telephonmembran einen Hohlspiegel aufkittete, welcher einen Lichtpunkt auf eine mit einem photographischen Film bespannte rotierende Trommel reflektieren ließ. Auf diese Weise stellte er Vokal- und Konsonantenkurven in verschiedenen Tonstärken dar. Dabei untersuchte er eingehend den Einfluß der Eigenschwingungen der Telephon- und auch der Mikrophon-

---

[1]) s. Berliner Klin. Wochenschrift 1878 Nr. 36 und Sir Henry Thompson, The Microphone in Surgery, Nature 18 p. 157 und Brit. Med. Journ. 1878 Nr. 910, A lecture on the use ot the microphone in sounding for stone.

[2]) s. G. Trouvé und H. de Boyer, La Lum. Électr. Bd. 2, p. 97.

[3]) Berlin. Klin. Wochenschrift. 1878, Nr. 38.

[4]) Zentralbl. f. El. Bd. 1, S. 374—380.

[5]) Compt. Rend. 87 p. 103—104.

[6]) s. Compt. Rend. 50 (1860) p. 634—637.

[7]) La Lum. El. Bd. 3 p. 389—391, Zentralbl. f. El. Bd. 3 p. 30—32.

[8]) Compt. Rend. 88 p. 847—849.

[9]) s. F. d. Phys. 49 I p. 29—30, Compt. Rend. 116 (1893) p. 748—752, F. d. Phys. 57 I (1901), p. 414 u. Compt. Rend. 133 p. 786—789, Méthode nouvelle pour l'étude de la parole et des courants microphoniques.

[10]) Drud. Ann. 8 (1902) p. 481—538, F. d. Phys. 58 I p. 485.

membran[1]), welch letztere sich besonders stark bemerkbar machte beim Mikrophonmodell der Telephonstationen der Reichspost, dagegen relativ wenig bei Berliners Universaltransmitter und beim Mikrophon von Mix & Genest. Ein Myophon benannter Apparat diente Boudet zur Untersuchung des Muskelgeräusches, sein Sphygmophon zur Untersuchung des Pulses. Bei all diesen geringen Intensitätsschwankungen, welche das Mikrophon beeinflussen, müssen selbstverständlich Empfangstelephone mit möglichst geringem Widerstande angewandt werden, da die im Mikrophon hervorgebrachten Widerstandsschwankungen bei diesen äußerst schwachen Geräuschen sehr gering sind. Den schwachen Geräuschen entsprechend darf auch der ursprüngliche, auf die Kontakte ausgeübte Druck nur gering sein.[2]) Dabei muß dann wieder bedacht werden, daß der zur Verwendung gelangende Strom nicht zu stark ist, damit nicht die leisen durch den Körper verursachten Schwankungen überlagert werden durch die bekannten, von einem starken Strom auf lose Kontakte ausgeübten Wirkungen.

Im Jahre 1896 wandte A. de Holowinski[3]) das Mikrophon in Verbindung mit einem optischen Telephon zur „Photographie der Herzgeräusche“ an. Schließlich sei hier noch Preußes[4]) gedacht, welcher Telephon und Mikrophon verwandte, nicht nur, um einseitige Taubheit zu erkennen, sondern auch, um die Simulation einseitiger Taubheit aufzudecken. Bei der von ihm angegebenen Anordnung hat der untersuchende Arzt es nämlich in der Hand, durch passende Stromwender usw. das Mikrophon nach Belieben bald mit beiden, bald nur mit dem ans linke und bald nur mit dem ans rechte Ohr des zu Untersuchenden gelegten Telephon zu verbinden, ohne daß der zu Untersuchende davon Kenntnis erhält. Zur Kontrolle für den Arzt, ob der Apparat gehörig funktioniert, dient ein drittes in den nämlichen Stromkreis eingeschaltetes Telephon. Alles in allem genommen scheint aber, soweit wir uns haben informieren können, das Mikrophonprinzip bislang jedenfalls keine ausgedehnte praktische Verwendung in der Medizin gefunden zu haben.[5])

---

[1]) s. auch Fröhlichs Optische Darstellung der Vorgänge im Telephon etc., E. T. Z. 8 (1887) p. 210—217, Lum. él. vol. 24 p. 381—383 u. vol. 25 p. 180—187, F. d. Phys. 43 I p. 555—557, bei welcher er vielfach die Schwingungen der Telephonmembran auf empfindliche Flammen wirken ließ und die er auch vor allem zum Studium der Wiedergabe der Vokale durch das Telephon empfahl.

[2]) s. hierbei auch Hughes und Blyth, Nature 18 p. 172—173.

[3]) C. R. 123 p. 162—165.

[4]) Physiol. Ges. in Berlin, 16. Mai 1879 und Elektrot. Bibl. Bd. 18 p. 358—360.

[5]) s. noch Aur. Bianchi, Il telefono ed il microfono applicati alle science mediche; modalita di ascoltazione nella diagnosi medica; memoria. 126 p. Milano, frat. Rechiedec. 1883. Dagli Annali univ. di Medicina vol. 261; Elektrot. Bibl. Bd. 20 p. 17.

6. Erdbebenforschung.

Um äußerst schwache Wirkungen handelt es sich zumeist bei der Erdbebenforschung, in deren Dienst das Mikrophonprinzip im Grunde schon vor der eigentlichen Erfindung des Mikrophons getreten ist, wie wir hernach sehen werden. In Mondes (2) 47 p. 459 wird unter der Überschrift „La terre parle“ von der Aufstellung eines mikrophonisch-telephonischen Apparates auf dem bekannten Vesuvobservatorium berichtet, durch welchen man deutlich die unterirdischen Erschütterungen wahrnehmen konnte, und man erfährt dort auch von ähnlichen befriedigenden Versuchen an anderen Orten Italiens. Derartige Beobachtungen knüpfen sich vor allem an die Namen Mugna[1]), welcher 1881 auf der Elektrizitätsausstellung zu Paris einen „Ascoltare endogeno“ genannten Apparat ausstellte[2]), de Rossi und Mocenigo[3]), Palmieri[4]), Milne[5]), Baratta[6]) und Cancani[7]). Letzterer steht übrigens der Verwendung des Mikrophons zu seismologischen Studien ziemlich skeptisch gegenüber, da nach seiner Überzeugung bei seinen Beobachtungen vielfach bei Ausschluß aller Erschütterungen Geräusche im Telephon zu vernehmen waren. Er will dabei allerdings nicht in Abrede stellen, daß in einzelnen Fällen unterirdische Bewegungen die im Telephon beobachteten Geräusche verursachten, und gibt gleichzeitig Ratschläge für die Maßregeln bei der Verwendung mikrotelephonischer Apparate. Sehr interessant ist es, daß Mocenigo aus Vicenna[8]) bereits 1875 beobachtet hatte, daß künstlich hervorgerufene Reibungen oder Stöße bei in losem Kontakt miteinander befindlichen Leitern („per effetto soltanto di attriti e di scosse communicate artificialmente ai conduttori posti fra loro in semplice contatto instabile“) mittels des Galvanometers Störungen bezw. Stromunterbrechungen anzeigen. Bald darauf beobachtete Mocenigo ähnliche Galvanometerschwankungen bei scheinbar vollkommener Ruhe der Apparate. Er teilte de Rossi seine Beobachtungen mit, und dieser sprach den Gedanken aus, daß die Erscheinung vermutlich durch außerordentlich geringe seismische Bewegungen veranlaßt sei. Mocenigo fing nun an, in der angedeuteten Richtung Untersuchungen anzustellen.

---

[1]) Cimento (3) 7 p. 162.

[2]) Lum. él. vol. 4 p. 270—271.

[3]) Nature 20 p. 179—180, Sill. J. (3) 18 p. 159—160, Engin. 29 p. 498.

[4]) Nature 19 p. 207.

[5]) Sill. J. (3) 19 p. 427, Nature 21 p. 382—383.

[6]) Nature 43 p. 209.

[7]) Atti R. Accad. dei Linc. 3 (1) p. 328—331.

[8]) Fenomeni singolari di interferenza fra le correnti elettriche ed i promossi mecanicamente sul legno, Bassano 1875; s. auch F. d. Phys. 35 p. 1311, Bulletino del Vulcanismo Italiano, Roma 1878, Sill. J. (3) 18 p. 159—160, Nature 20 p. 179—180, H. Gretschel, Das Telephon, das Mikrophon und der Phonograph, Leipzig (Quandt u. Händel) 1883 p. 95—97.

Unterdes traf ihn die Kunde von der Erfindung des Mikrophons aus Amerika. De Rossi versuchte alsbald, die neue Erfindung für seine seismologischen Studien [1]) zu verwerten, indem er in seinem ca. 17 Meilen von Rom entfernten Observatorium zu Rocca di Papa 20 Meter unter der Erdoberfläche ein Mikrophon aufstellte, welches im wesentlichen aus einer silbernen Platte und einem mit leichtem Druck dagegenliegenden, ausbalancierten und mit einer Spitze versehenen (pointed) Hebel bestand. Die Nachtstunden wurden zur Beobachtung verwandt. Es wurden nun ganz ähnliche Geräusche vernommen, wie sie Mocenigo beobachtet hatte. Dieselben waren von periodischem Charakter und fielen häufig mit den vom Seismometer registrierten Bewegungen zusammen. Einmal beobachtete de Rossi um ca. $3^1/_2$ Uhr morgens am Telephon und wurde überrascht durch ein an Musketenfeuer erinnerndes Getöse; bald darauf, um ca. 4 Uhr, erfolgte ein Erdstoß. In der Nacht des 22. September 1878 verursachte der Vesuv ein donnerähnliches Getöse, und gleichzeitig ließ das Mikrophon in Rocca di Papa ein lautes, metallisch klingendes Geräusch hören. Das Mikrophon wurde bald darauf in das unter Palmieris Leitung stehende Vesuvobservatorium [2]) gebracht, und es war nun möglich, das gegenseitige Entsprechen der Aufzeichnungen des Seismographen und der durchs Mikrophon übertragenen Töne noch genauer zu konstatieren und den seismischen Wert (il significato sismico) der verschiedenen Töne festzustellen. Erwähnt sei schließlich noch die Wahrnehmung, daß das Ticken einer mit einem Mikrophon verbundenen Uhr unmittelbar vor einem Erdstoß besonders laut gehört wird und mit dem allmählichen Verklingen der seismischen Störung schwächer und schwächer wird, worauf de Rossi die Konstruktion eine Mikrophons für derartige Beobachtungen gründete. Auch später hat man, vor allem in Italien, vielfach das Mikrophonprinzip für die Erdbebenforschung auszunutzen versucht. Im Jahre 1890 [3]) gab beispielsweise Baratta eine Methode an, um die durch die Variationen des Mikrophonstromkreises veranlaßten Schwankungen der Telephonplatte auf einen kleinen, um eine horizontale Achse drehbaren Spiegel zu übertragen, welcher das durch eine Linse auf ihn geworfene Licht auf lichtempfindliches, um eine rotierende Trommel gewickeltes Papier reflektiert. Was nun die Beurteilung der Anwendung des Mikrophonprinzips auf die Erdbebenforschung betrifft, so scheint man sich in Deutschland zum Teil ziemlich skeptisch dagegen zu verhalten, zum Teil auch scheint diese Anwendung wenig oder gar nicht bekannt zu sein. Hörnes gibt in seiner Erdbeben-

[1]) s. F. d. Phys. 39 III p. 753, Mondes (3) vol. 5 p. 449—455.

[2]) Nature 19 p. 207, Nature 20 p. 179—180.

[3]) Rivista Scientifico-Industriale 1890, Nature vol. 43 p. 209 und Electr. Rev. vol. 28 p. 116.

kunde (1893 p. 182) nur kurz an, daß das Mikrophon mit Vorteil angewandt sei, um sehr feine Erschütterungen akustisch wahrnehmbar zu machen. Ehlert gibt in seiner 1897 erschienenen Schrift[1]) eine Übersicht über die diesbezüglichen Bestrebungen, indem er zum Schluß darauf hinweist, daß selbst eine brauchbare Beobachtung immer nur dazu angetan sein würde, etwas über die Intensität der Störung anzugeben, dagegen niemals etwas über die Richtung des Stoßes. Im Handbuch der Erdbebenkunde von Sieberg (1904) finden wir über mikrophonische Seismometer nichts angegeben. Man hat ja wohl mit einem gewissen Recht darauf hingewiesen, daß sich vielfach im stromdurchflossenen Mikrophon Geräusche ohne äußere Einwirkung kundtun, und daß dies bei der besprochenen Klasse von Apparaten irreleitend werden könnte. Hier ließe sich aber vielleicht Wandel schaffen, wenn man vor allem dafür sorge, daß die an die Mikrophonkontakte angelegte elektromotorische Kraft nicht zu groß ist und daß — dies wohl allerdings auf Kosten der Empfindlichkeit — die Kontaktstücke nicht mit gar zu geringem Druck aufeinander liegen. Gewiß, die auf dem Mikrophonprinzip beruhenden Seismometer geben über die Richtung des Stoßes nichts an, auf der andern Seite aber darf man doch nicht neben der ungeheuren Empfindlichkeit des Mikrophons die relativ einfache Konstruktion derselben vergessen. Auch ist zu berücksichtigen, daß seit 1878 die Erfahrungen bezüglich der Empfindlichkeit und der gleichzeitigen Sicherheit im Funktionieren derartiger Apparate einen wesentlichen Schritt vorwärts gemacht haben. Immerhin wäre es doch interessant und in manchen Fällen vielleicht von einigem Wert, in häufiger von Erdbeben heimgesuchten Gegenden auf diesem Prinzip beruhende Apparate neben andern Seismometern aufzustellen oder dieselben dort aufzustellen, wo aus pekuniären oder andern Gründen die sonst gebräuchlichen Seismometer nicht zur Verwendung kommen. Es soll hier nur das Augenmerk auf diese nicht uninteressante Anwendung des Mikrophonprinzips gelenkt werden, weil gerade momentan das Interesse an der Erdbebenforschung nicht nur bei uns, sondern allgemein besonders groß zu sein scheint.

7. Wahrnehmung anderer, mehr oder weniger schwacher Wirkungen.

De Rossi hat auch den Vorschlag gemacht, die jedenfalls sehr oft schlagenden Wettern vorausgehenden mikroseismischen Wellen[2]) auf ein Mikrophon wirken zu lassen, um hierdurch in Gemeinschaft mit barometrischen Indikatoren die Arbeiter rechtzeitig warnen zu können.

---

[1]) Zusammenstellung, Erläuterung und kritische Beurteilung der wichtigsten Seismometer, Bd. 3 Heft 3 von Gerlands Beitr. der Geophysik.

[2]) s. Huguenel, Beitrag zur Erklärung der Erdbeben und der schlagenden Wetter.

Ähnlich wollte de Locht-Labye durch sein besonders empfindliches auf dem Prinzip loser Kontakte beruhendes Pantelephon[1]) die Geräusche und Bewegungen der Gruben kontrollieren. Ob diese Vorschläge in die Praxis umgesetzt worden sind, haben wir nicht erfahren können, jedenfalls aber scheinen auf diesem Prinzip beruhende Indikatoren heutzutage bei uns, wie wir aus G. Köhler, Lehrbuch der Bergbaukunde 1904, entnehmen, höchstens von untergeordneter Bedeutung anderen Instrumenten gegenüber zu sein. In Frankreich hat E. Hardy in den neunziger Jahren[2]) von einem neuen, sehr sinnreichen Gesichtspunkt aus versucht, die Gruben mit Hilfe des Mikrophonprinzips auf schlagende Wetter hin zu kontrollieren. Hat man zwei gleiche Orgelpfeifen und setzt dieselben gleichzeitig in Funktion mittels zweier Blasebälge, welche beide mit reiner Luft gespeist werden, so lassen beide gleichzeitig den nämlichen Ton erklingen. Ist aber der eine Blasebalg mit verunreinigter Luft bezw. direkt mit einem anderen Gas gespeist, so wird die Tonhöhe der mit ihr in Verbindung stehenden Pfeife entsprechend geändert, und die beiden Pfeifen veranlassen, wenn sie gleichzeitig angeblasen werden, Schwebungen, deren Zahl von der Stärke der Verunreinigung abhängt. Diese Tatsache benutzt Hardy zur Bestimmung der Reinheit der Luft in den Bergwerken, indem der eine Apparat, von dem aus die eine Pfeife zum Tönen gebracht wird, abgeschlossen und mit reiner Luft gefüllt ist, wogegen zu dem entsprechenden andern Apparat etwa verunreinigte Luft freien Zutritt hat. An jede der beiden Pfeifen wird ein Mikrophon angesetzt und elektrisch mit einer an beliebiger Stelle vorhandenen Kontrollstation verbunden. Auf diese Weise soll man mit großer Schärfe die Schwebungen feststellen können. Die Methode soll sich als äußerst empfindlich herausgestellt haben, und es soll sich beispielsweise bei mit Leuchtgasverunreinigung angestellten Versuchen ergeben haben, daß das Vorhandensein von $^1/_{10}$ Prozent Leuchtgas drei Schwebungen in 20 Sekunden und dasjenige von 1 Prozent 30 Schwebungen in 20 Sekunden verursachte.

Um äußerst geringe Wirkungen handelt es sich auch bei der[3]) vom Grafen von Engenberg bei Nacht vorgenommenen Aufsuchung von Quellen durch in den Boden eingegrabene Mikrophone, welche, wie es damals verlautete, sehr gute Resultate ergab. Es mag dabei erwähnt

---

[1]) E. T. Z. Bd. 1 p. 251—253, Zentralbl. f. Elektrot. Bd. 2 p. 390—394, Dingl. J. 1880, Elektrot. Rdsch. vol. 1 (1883—84) p. 42—44.

[2]) La Nature 21 p. 401—402, Wied. Beibl. 18 p. 321 u. 440. F. d. Phys. 49 I (1893) p. 553, Compt. Rend. 117 p. 573—574, Dingl. Polyt. Journ. 290 p. 273—274, Revue industrielle vom 2. Dez. 1893, F. d. Phys. 51 I p. 499, Compt. Rend. 120 p. 300—302, Wied. Beibl. 20 p. 852, Compt. Rend. 121 p. 1116—1117.

[3]) E. T. Z. Bd. 2 p. 300, Lum. él. vol. 3 p. 440.

sein, daß der indische Gelehrte Radscha Sir T. Radava Row diese Verwendung des Mikrophons schon vorher empfohlen hatte.

In ähnlicher Weise findet das Mikrophon im Festungskriege Verwendung, um die Dienste der sonst nötigen Vorpostenlinien zu leisten,[1]) auf welche Möglichkeit zuerst der Telegraphenkontrolleur der österreichischen Nordwestbahn, Axt, im Jahre 1880 hingewiesen zu haben scheint. Nach seinem Vorschlag werden von ca. 400 zu 400 Metern (bei nassem Boden wird geringerer Abstand nötig) zweckentsprechend gestaltete Mikrophone in den Boden versenkt, und unterirdische Leitungen führen zum Beobachtungspunkte, wo die Lage der einzelnen Mikrophone in eine Karte eingezeichnet ist. Als Empfangsapparate dienen gewöhnliche Telephone. Wenn man bedenkt, wie vorzüglich die Erde Schallschwingungen überträgt, so wird ein solcher Gedanke allerdings nahegelegt. Im Jahre 1888 machte ein französischer Offizier, Desbordieu[2]), den nämlichen Vorschlag und gab eine Kombination eines Mikrophons mit einem in den Erdboden einzubohrenden Gehäuse an. Aus der E. T. Z. erfahren wir auch, daß bereits vorher ein deutsches Reichspatent auf einen Erdbohrer mit Kohlenmikrophon für militärische Zwecke erteilt wurde (an Drawbaugh). Derartige Apparate haben nach der nämlichen Quelle bei Manövern ausgezeichnete, ja ganz überraschend gute Resultate gezeitigt.

Im Anschluß hieran mag gleich mitgeteilt werden, daß das Mikrophon auch in der Ermittlung von Leckstellen in Wasserleitungsanlagen Verwendung gefunden hat. Einen diesbezüglichen Vorschlag machte bereits im Jahre 1878 Ph. Seubel bei einem Bruch des Hauptzuführungsrohrs der städtischen Wasserleitung in Canton im Staate Ohio, und die Ausführung war von bestem Erfolg begleitet.[3]) Unabhängig davon, wie es scheint, hat Kümmel in Altona den Gedanken gefaßt, das Mikrophonprinzip zu diesem Zweck auszunutzen, und der Mechaniker Paris konstruierte daraufhin ein „Hydrophon“ genanntes Instrument, welches sich als durchaus brauchbar für die Praxis[4]) erwies[5]), so daß der Kongreß der Gas- und Wasseringenieure zu Eisenach die von ihm angegebene Form adoptierte.[6])

---

[1]) E. T. Z. Bd. 1 p. 168—169.

[2]) E. T. Z. Bd. 9 p. 402.

[3]) Zentralbl. f. Elektrot. Bd. 8 (1886) p. 368—369.

[4]) Das Tropfen eines Hahnes soll nachts deutlich vernehmbar gewesen sein.

[5]) Zentralbl. f. Elektrot. 8 p. 700—701 und E. T. Z. 8 p. 144—145, Électricité 1887 p. 26, Électric. London vol. 18 p. 250, Bull. soc. internat. des él. 1887 p. 38, Génie civ. vol. 10 p. 151, D. R. Pat. Klasse 42 Nr. 38857, Patentbl. 1887, Auszüge p. 255, F. d. Elektrot. 1 p. 283, 305 u. 311.

[6]) Vortrag auf der 26. Jahresversammlung des Vereins.

8. Signalisierung, Orientierung und damit Verwandtes.

Blake stellte eingehende Untersuchungen[1]) darüber an, wie weit sich das Mikrophon unter Wasser benutzen lasse. Bei seinen im Wabasch-Fluß angestellten Versuchen gelang es ihm, auf eine Entfernung von 1 bis 1½ engl. Meilen Signale wahrzunehmen. Als Geber benutzte er eine Glocke, als Empfänger eine Art Adersches Mikrophon. Um die nämliche Zeit (1887) berichtete die Electrical World von ähnlichen Versuchen, welche Edison mit gutem Erfolg in Florida anstellte.[2]) Es handelte sich auch hier um die Übertragung von Tönen; an die Übertragung der Sprache soll Edison nach den diesbezüglichen mißglückten Versuchen von Trowbridge nicht gedacht haben. Kurz darauf wies Holthof[3]) auf seine analogen in Vergessenheit geratenen, auf dem Kurteich in Wiesbaden gelegentlich der 60. Versammlung deutscher Naturf. und Ärzte[4]) angestellten Versuche hin, welche sowohl mit Glocken als auch mit einem Sirenenmodell als Sender und einem Unterwassermikrophon als Empfänger angestellt wurden. Bei dieser Gelegenheit machte er auch darauf aufmerksam, daß das von ihm für diesen Zweck konstruierte Mikrophon nach Verlauf von fünf Monaten ebenso gut unter Wasser funktionierte wie am ersten Tage. Banaré[5]) ging von dem Gedanken aus, daß die Membran des unter Wasser befindlichen Mikrophons nur dann in richtiger Weise schwingen kann, wenn von beiden Seiten der gleiche Druck auf sie ausgeübt wird. Dies erreichte er durch einen mit Luft gefüllten Gummiball, in welchem der ins Meer versenkte Apparat angebracht war. Die größte Entfernung, bis zu welcher noch eben signalisiert werden konnte, betrug 5200 Meter; unausgesetzt deutlich wurden die Signale bei einer Distanz von 1400 Metern vernommen. Um gleichen Druck auf beiden Seiten der Membran eines im Wasser benutzten Mikrophons zu haben, schlug 1890[6]) K. Hieronymus vor, die Mikrophonkontakte in eine hölzerne, hermetisch verschlossene und mit einer schlecht leitenden Flüssigkeit gefüllte Kapsel zu bringen. Natürlich mußte die Flüssigkeit beweglich genug sein, um nicht die mikrophonische Wirkung zu hindern oder gar aufzuheben. Gleichzeitig wollte Hieronymus

---

[1]) E. T. Z. 9 (1888) p. 57, s El. World vol. 10 p. 113, Engin. vol. 44. (1887) p. 325, El. Rev. New York vol. 10 p. 5, Electrot. London vol. 19 p. 546, F. d. Elektric. 1887 p. 38, F. d. Elektrot. vol. 1 p. 543.

[2]) s. auch F. d. Elektrot. vol. 1 p. 538, Öster. Ung. Post 1887 p. 172, Lum. él. vol. 24 p. 398.

[3]) Zentralbl. f. Elektrot. vol. 10 (1888) p. 145—146, s. auch E. T. Z. 11 p. 49.

[4]) s. das betr. Tageblatt p. 233.

[5]) E. T. Z. 9 p. 486—487, F. d. Phys. 45 II p. 714, C. R. 107 (1888) p. 197 u. 457—458, Annales industrielles 1888 und Moniteur industriel.

[6]) s. E. T. Z. 11 p. 86—87, F. d. Phys. 46 II p. 555.

erreichen, daß die Mikrophonkontakte in einem möglichst sauerstoffarmen Medium vorm Verbrennen geschützt würden.

Später haben sich der vor einigen Jahren verstorbene Professor Elisha Gray und A. J. Munday[1]) eingehend mit diesem Problem beschäftigt und hatten ausgezeichnete Erfolge, indem man mittels elektrischer Empfangsapparate die Signalglocke bis zu 12 Seemeilen hören konnte. An diese Versuche anknüpfend ersann Munday eine Methode, um ein Schiff sicher in den Hafen zu steuern, indem er zwei Glocken von verschiedener Tonhöhe, welche in gleichem Abstande von der Hafeneinfahrt versenkt waren, und deren Klöppel durch einen Strom betätigt wurde, der vom Lande aus mittels Kabels zugeführt wurde, gleichzeitig zum Tönen brachte. Ist das Schiff ungleich weit von beiden Glocken entfernt, so vernimmt man erst den höheren und dann den tieferen Ton bezw. umgekehrt und kann aus der Länge des Zeitintervalls, welches zwischen dem Hören der verschiedenen Töne vergeht, und durch Benutzung der Seekarte die Lage des Schiffes bezüglich der Hafeneinfahrt leicht finden. Kürzlich hat Munday verschiedene Mikrophonformen beschrieben, welche zur Aufnahme von Schallwellen unter Wasser bestimmt sind. Nach dem System Munday-Gray[2]) gearbeitete und von der Submarine Signal Comp. Boston bezogene Gebe- und Empfangsapparate sind erst vor ganz kurzer Zeit von der Kaiserl. Marine im Kieler Hafen ausprobiert worden, und zwar nach den Berichten der Tagesblätter mit sehr gutem Erfolge.

Im Jahre 1889 hatte Chaye[3]) das Mikrophon zur Bestimmung der Richtung eines ankommenden Schiffes vorgeschlagen. Zu dem Ende sollte die Mikrophonplatte in einer bleiernen Büchse mit starken Wänden, welche ein Fenster hatten, untergebracht werden. Bei Drehung der Büchse mußte man die Maximalstärke des zu beobachtenden Geräusches erhalten, wenn es in einer bestimmten, geeigneten Lage war. Es wurde damals berichtet von sehr befriedigenden, nach dieser Richtung hin angestellten Versuchen. Wie weit diese Berichte zutreffend sind, haben wir allerdings nicht kontrollieren können.

Eine verwandte Aufgabe hat das Mikrophon in einem von einem schwedischen Ingenieur H. Berggraf[4]) erdachten Apparat. Auch hier hat das Mikrophon Signale aufzunehmen; während diese Signale aber

[1]) E. T. Z. 1901 p. 471, Maiheft 1901 der Electric. World and Engineer, Fortschr. d. Elektrot. 1904 p. 710.

[2]) siehe Engin. vom 28. April 1905; und auch Verhandl. auf dem Vereinstage des Verbandes deutscher Seeschiffer 1905.

[3]) F. d. Phys. 45 II p. 668, Lum. él. 33 p. 535 u. 633, Bull. internat. de l'électr. 1889 p. 146, Telephone 1 p. 425, E. T. Z. 11 (1890) p. 13.

[4]) siehe Elektroteknisk Tidskrift 1905 p. 20—22, wo sich eine Skizze des Apparates befindet.

in dem vorher besprochenen Fall bei einem entfernten Schiff abgegeben werden, befinden sich in diesem Fall, wo es darauf ankommt, die Meerestiefe an einer gewissen Stelle zu bestimmen, Signalapparat und Empfangsapparat auf einem und demselben Schiff. Der dem Apparat zugrunde liegende Gedanke ist, die Zeit zu messen, welche die vom Signalapparat ausgehenden Schallwellen gebrauchen, um bis zum Meeresgrunde hin und zurück zum Schiff zu kommen, was einen Schluß auf die Meerestiefe zuläßt. Die Seele des Apparates ist ein Mikrophon, dessen schwingende Platte nebst dem damit in Verbindung stehenden Resonanzrohr genau auf den vom Signalapparat abgesandten Ton abgestimmt ist, so daß das Mikrophon eben nur auf diesen Ton reagiert und gegen alle sonstigen Geräusche usw. unempfindlich ist. Die kräftige Schwingung der Mikrophonplatte löst durch elektromagnetische Vermittelung eine der Zeit nach meßbare Zeichengebung aus. Der Erfinder verspricht sich von seinem Apparat einen großen Vorteil nicht nur für die Wissenschaft, sondern auch besonders für die Schiffahrt, indem auch Vorrichtungen getroffen sind, daß kräftig alarmiert wird, sobald das Schiff in seichtes Wasser einläuft. Der ganze Mechanismus erscheint ziemlich kompliziert, und wir haben auch über praktische Erfolge bislang nichts vernommen. Der zugrunde liegende Gedanke ist aber recht sinnreich, und es wäre wohl wünschenswert, daß er wirklich erfolgreich realisiert werden könnte. Deutsche Zeitschriften haben unseres Wissens bislang über die Erfindung höchstens kurze Notizen gebracht.

9. Astronomische Anwendung.

Da bekanntlich die Belastung einer Uhr mit einem Kontakt störend auf den Gang derselben wirkt, so wurde vor ca. 20 Jahren von W. Meyer in Genf die Verwendung des Mikrophonprinzips für den astronomischen Zeitdienst [1]) vorgeschlagen und mit Vorteil weiter ausprobiert. Die eine Aufgabe einer solchen Einrichtung bestand darin, die von der astronomischen Uhr gegebene Normalzeit nach verschiedenen Beobachtungsräumen der Sternwarte zu übertragen, die andere darin, verschiedene örtlich voneinander getrennte Uhren miteinander zu vergleichen. Für den letzteren Fall gestatteten Rheostaten, die durch die Mikrophone passierenden Ströme so abzugleichen, daß die Koinzidenz der durch das Telephon wahrgenommenen Töne von gleicher Stärke und Klangfarbe leicht zu beobachten war. Schließlich wurden von W. Meyer noch Versuche angestellt, um das Mikrophon direkt mit einem Chronographen zu verbinden, welche allerdings nicht ganz einwandsfrei waren, weil sie gelegentlich versagten. Die Schuld wurde darauf geschoben, daß die

[1]) Arch. d. scienc. phys. et nat. 5 (3) p. 25—33 u. 6 p. 418—433, Astron. Nachr. vol. 100 Nr. 2400 p. 369—372, Fortschr. d. Phys. 37 (I—II) p. 33, Zs. f. Instr. 1882 p. 192—193, L'Électricien Nr. 20 u. F. d. Phys. 38 (I—II) p. 24.

Wirkung des Tones auf das Mikrophon oft so rasch vorübergehend sein sollte, daß der Anker des zuerst auf den Vorschlag von v. Oppolzer benutzten Relais wohl losgelassen wurde, daß aber die Berührung an der gegenüberliegenden Kontaktstelle, durch welche der den Chronographen betätigende Strom eingeschaltet werden mußte, eine gar zu flüchtige war. Es zeigte sich übrigens, daß es von außerordentlicher Wichtigkeit war, genau das richtige Verhältnis zu wählen zwischen der Stärke der Erschütterungen und der Schwere des beim Mikrophonkontakt angewandten beweglichen Kohlenstäbchens. Übrigens kann nicht in Abrede gestellt werden, daß die Versuche zum großen Teil sehr befriedigend ausfielen. So ist es z. B. geglückt, eine auf der Sternwarte in Genf aufgestellte gewöhnliche Arnoldsche Pendeluhr auf dem Chronographen in Wien registrieren zu lassen. Analoge Versuche sind nach Mitteilung von Dr. Schwaßmann vor einigen Jahren an der Hamburger Sternwarte angestellt worden, wobei es sich sowohl darum handelte, die Sekunden der Uhr in einem in der Ferne aufgestellten Telephon zu hören, als auch darum, die Chronographenfeder zum Spielen zu bringen. Diese Resultate sollen allerdings wenig befriedigend gewesen sein. Vor kurzem berichtete E. Guyere in den Compt. rend. 140 p. 1429—1430 über ähnliche, sehr befriedigend ausgefallene Versuche, indem er zwecks Hörbarmachung der Sekundenschläge der Normaluhr ein Mikrophon in derselben angebracht hatte. Bei der Besprechung dieser Mitteilung in der Zeitschrift für Instrumentenkunde (Bd. 25 p. 382) wurde darauf aufmerksam gemacht, daß schon seit Jahren in Jena in ähnlicher Weise die Hauptuhr der seismischen Station mit der Hauptuhr der Sternwarte verglichen wird. Seit kurzem, nachdem es gelungen ist, sehr empfindliche Selenzellen zu konstruieren, überträgt man allerdings den Gang der Uhr mit großem Erfolg durch Vermittlung des Lichtes, indem durch die Schwingungen des Pendels eine periodische Belichtung und Verdunkelung der Selenzelle und dementsprechend eine periodische Änderung des Widerstandes im Takte der Pendelschwingungen erfolgt.

10. Verwendung im eigentlichen Verkehrsleben.

A. Das Mikrophon als Geber.

Die ausgedehnteste Verwendung hat das Mikrophonprinzip im eigentlichen Verkehrsleben gefunden, und die Anwendung steigert sich von Tag zu Tag. Im wesentlichen handelt es sich im gewöhnlichen Leben bekanntlich um die Übertragung der Sprache; zu wiederholten Malen, und zwar auch schon bald nach der Erfindung des Mikrophons [1])

[1]) Dingl. Polyt. Journ. 243 (1882) p. 264, Engineering Bd. 32 (1881) p. 633, Électricien 1882 p. 505, E. T. Z. Bd. 3 p. 383, Dingl. Polyt. Journ. 246 (1882) p. 130—133, Zentralbl. f. Elektr. Bd. 3 (1881) p. 299—300, Zentralbl. f. Elektr. Bd. 10 (1888) p. 613.

wurde es zur Übertragung von Musik, von Opern und dergl. angewandt. Die gewöhnliche Wirkungsweise ist bekanntlich die, daß die durch die Widerstandsänderungen des Mikrophons bedingten undulierenden Ströme durch magnetische Einwirkung die Platte des Hörtelephons in Schwingungen versetzen, welche ein möglichst getreues Abbild der in das Mikrophon hineingesprochenen Worte ergeben. Es ist von verschiedener Seite, so von Mercadier[1]) und vor allem mit recht gutem Erfolg von W. J. Hammer[2]) versucht worden, die durch das Mikrophon aufgenommene Sprache zunächst auf den Phonographen zu übertragen, um sie sodann zu beliebiger Zeit auf ein zweites Mikrophon wirken zu lassen. Interessant sind die von Hammer angestellten Versuche, bei denen in New York die Sprache zunächst einem Phonographen und durch diesen einem Edisonschen Kohlenmikrophon übermittelt wurde; im Franklininstitut in Philadelphia war als Empfänger ein Edisonscher Motograph[3]) aufgestellt; durch diesen wurden die Worte weiter auf ein Mikrophon übertragen, um schließlich durch einen zweiten Elektromotographen dem Publikum übermittelt zu werden. Dabei ist allerdings zu bemerken, daß die feinsten Nuancierungen der Stimme durch Benutzung des Phonographen leicht verloren gehen.

Im Zusammenhange hiermit werden am besten die originellen Versuche besprochen, das Mikrophonprinzip zur Konstruktion eines Phonographen zu verwenden. Wir denken hier znnächst an den sogenannten Phontographen von Irish[4]). Beim gewöhnlichen Mikrophon veranlassen die Schallschwingungen direkt Widerstandsänderungen und dementsprechende Stromschwankungen. Hier werden die Schwingungen gewissermaßen erst fixiert, indem eine im Stromkreis einer starken Batterie liegende und so im steten Glühen erhaltene Platinspitze die Schwingungen einer Membran mitmacht und dementsprechend eine Reihe von Schlitzen in einen über eine Walze gezogenen, gefirnißten Stanniolstreifen einbrennt. Dieser Streifen wird weiter zwischen zwei aus elastischem Material bestehenden und an ihrer Oberfläche mit feinem, anhaftendem Kohlenpulver bedeckten Walzen hindurchgeführt, von denen die eine mit dem Empfänger, die andere mit der Batterie verbunden ist. Wenn nun gefirnißtes Stanniol zwischen den Walzen liegt, so ist der Stromkreis unterbrochen; da, wo der Stift eingebrannt hat, berühren sich Kohle und Kohle. Man kann sich allerdings schwer vorstellen, daß hier eine gute Übertragung der Sprache stattfindet, da es einerseits schwer verständlich ist, wie die Größe der eingebrannten

[1]) E. T. Z. 1889 p. 301.

[2]) E. T. Z. 1889 p. 170.

[3]) siehe „Das Telephon“ von Maier u. Preece (1889) p. 72—74.

[4]) Le phontographe ou téléphone électrotermique, Lum. Él. 26 p. 293—294, E. T. Z. 1888 S. 58—59, El. Rdsch. 6 (1889) S. 21—22.

Stellen ein genügend treues Abbild der das Instrument treffenden Schallschwingungen gibt, und andererseits nicht leicht einzusehen ist, daß an der Berührungsstelle der Walzen die elektrischen Widerstandsänderungen in genügender Weise der Größe der eingebrannten Stelle entsprechen. Wie wir sahen, finden ja auch zum Teil direkte Stromunterbrechungen statt, und insofern haben wir es hier auch nicht mit dem im gewöhnlichen Sinne verstandenen Mikrophonprinzip zu tun. Diesem kommen wir etwas näher in dem von Hunter angegebenen elektrischen Phonographen.[1]) Auch hier sind die Funktionen des gewöhnlichen Mikrophons, das Aufnehmen der Schallschwingungen und das Umformen der mechanischen in elektrische Energie, an zwei verschiedene Stellen verlegt. Der mit der angesprochenen Membram bewegte Stift macht den Schallschwingungen entsprechende Eindrücke in eine dünne Kohleschicht. Zur Wiedergabe des Gesprochenen benutzt man eine Zunge, welche den nämlichen Weg zurücklegt wie vorhin die Spitze, so daß nun durch die Kohlenfläche einerseits und die Zunge andererseits ein veränderlicher Widerstand und dementsprechend ein undulierender Strom hervorgebracht wird, welcher ein Telephon betätigt. Auch bei dem von Graham Bell[2]) angegebenen Phonographen, dem sogenannten Photophonographen oder Graphophon, geschieht die Wiedergabe der durch Vermittlung des Lichtes chemisch wirkenden Schallschwingungen mikrophonisch, indem ein Mikrophon an die lichtempfindliche Schicht auf einem Zylinder gedrückt und der Zylinder in die bekannte, gleichzeitig fortschreitende und drehende Bewegung versetzt wird, wobei die phonographische Spur auf den beweglichen Kontakt einen variablen Druck ausübt, welcher nunmehr einen undulierenden Strom entstehen läßt.[3])

Ein analoges Prinzip wurde bei dem von F. Dussaud[4]) angegebenen Mikrophonograph benutzt, der eine Verbindung von Phonograph, Mikrophon und Telephon ist und dazu dienen sollte, die Worte des Phonographen zu verstärken bezw. die Größe dieser Verstärkung durch eingeschaltete Widerstände zu variieren. Das Mikrophon ruhte bei diesem Instrument auf der Membran des Phonographen und wurde so direkt mechanisch erregt. Die Übertragung konnte auf viele Kilometer weit erfolgen; M. Jaubert und Berthon verbesserten den Apparat, und es ist über

---

[1]) Lum. El. 26 p. 542, E. T. Z. 1888 S. 59, El. Rdsch. Bd. 6 (1889) S. 22.

[2]) El. Rdsch. 1888 S. 62, Engin. 42 p. 90, Dingl. Journ. 262 S. 334, G. Richard, Les graphophones, Lum. El. 22 p. 299—305.

[3]) s. auch Wheless, Telegraphophone, El. World 14 p. 184, El. Rev. 25 p. 357, El. Rev. New York 15, 6, Nr. 5.

[4]) F. d. Phys. 54 I (1898) p. 683, Arch. scienc. phys. (4) vol. 6 (1898) p. 362—363, F. d. Phys. 55 I p. 681—682, Séances soc. franc. de phys. 1898 p. 79—80.

sehr zufriedenstellende Resultate [1]) berichtet worden. Bei den folgenden, in der neuesten Zeit konstruierten Phonographen kommt das Mikrophonprinzip nur für die Fixierung der Sprache, welche entweder des elektrischen Stromes direkt oder aber nur der Vermittlung des elektrischen Stromes bedarf, zur Anwendung. Das Mikrophon nimmt die Schallwellen auf und erzeugt in bekannter Weise die undulierenden Ströme, welche nun in einer gewünschten Richtung wirken. Beim Poulsenschen Telegraphon [2]) werden die Stromschwankungen in einen geeigneten Elektromagneten geleitet und erzeugen zwischen den Polen desselben ein den Schallwellen entsprechendes variables Magnetfeld. Ein durch das magnetische Feld gezogener Stahldraht wird nun entsprechend den Schwankungen des Magnetfeldes an den verschiedenen Stellen verschieden stark magnetisiert. Damit ist der Draht gewissermaßen beschrieben. Soll die Sprache reproduziert werden, so wird das Mikrophon durch ein Telephon ersetzt, und der Draht wird in gleicher Weise wie vorher durch das magnetische Feld gezogen (zwischen den Polen des Elektromagneten), so daß nun die verschieden stark magnetisierten Stellen durch den remanenten Magnetismus entsprechende Stromoszillationen hervorrufen, welche durch das Telephon die ursprünglichen Schallwellen reproduzieren. Das von Poulsen gefundene Prinzip ist aber einer viel weitergehenden Anwendung fähig, weshalb er auch den Namen Telegraphon statt Telephonograph als „prinzipielle“ Bezeichnung seiner Epoche machenden Erfindung beibehalten wissen will. Der Ruhmersche photographische Phonograph oder das Photographophon [3]) benutzt das Mikrophon nur in so fern, als dieses zur Hervorrufung von Lichtintensitätsoszillationen einer sprechenden Bogenlampe nötig ist. Diese Lichtintensitätsschwankungen werden photographisch fixiert auf einem bewegten lichtempfindlichen Film, welcher also dem Stahldraht bei Poulsen entspricht. Soll nun die Sprache reproduziert werden, so wird ein Positiv des Films zwischen einer Lampe und einer mit Batterie und Telephon verbundenen Selenzelle in geeigneter Weise vorbeigeführt, wobei sich die Belichtungsunterschiede des Films in Widerstandsschwankungen der Selenzelle und dementsprechende Stromschwankungen umsetzen, so daß das Telephon auch hier die ursprünglichen Schallwellen reproduziert. Es sei übrigens hier darauf aufmerksam gemacht, daß bereits Leon

[1]) s. Electr. World 39 (1902) p. 776.

[2]) s. Poulsen, Drud. Ann. 3 p. 754—760, Compt. Rend. 130 p. 1754—1755, Journ. de phys. (3) vol. 9 p. 655—661, F. d. Phys. 56 II p. 523—524, Phys. Zts. 1 p. 413—415, E. T. Z. 21 (1900) p. 385—386, s. Ruhmer darüber Phys. Zts. 1 p. 470—472, Phys. Zts. 2 p. 1—3 u. 125—128 (Neues darüber), s. Rellstab darüber E. T. Z. 22 p. 57—59, u. 210 und Poulsen hierauf E. T. Z. 22 p. 293.

[3]) F. d. Phys. 57 I p. 416, Phys. Zts. 2 (1901) p. 498—500, Der Mechaniker 9 p. 75—77, 121, 169—171.

Esquille[1]) die Strahlen eines Photophons zur Fixierung der Sprache auf einem durch ein Uhrwerk bewegten Streifen lichtempfindlichen Papiers benutzte.

Die chemische Wirkung des Stromes benutzte der von W. Nernst und R. v. Lieben[2]) angegebene elektrochemische Phonograph, indem ein Platinband ohne Ende bezw. eine Kupferscheibe durch die Mikrophonströme galvanisch polarisiert wurde. Zur räumlichen Trennung der durch die Stromschwankungen hervorgerufenen Polarisationen war es nötig, die Berührungsstelle zwischen Band bezw. Scheibe einer- und dem Elektrolyt andererseits möglichst schmal zu machen, weshalb als Elektrolyt ein mit einer leitenden Flüssigkeit getränkter Holzkeil gewählt wurde. Das Mikrophon befand sich im Primär-, Elektrolyt und Band bezw. Scheibe im Sekundärkreis. Sollte die Sprache reproduziert werden, so wurde die durch die Mikrophonströme erregte Sekundärspule aus- und statt dessen ein Telephon eingeschaltet. Wurde nun das Band bezw. die Scheibe wieder in eine passend schnelle, gleichförmige Bewegung gebracht, so konnten die aufgegebenen Laute reproduziert werden, und zwar oft viele Male nacheinander. Notwendige Bedingung war dabei allerdings, daß im Stromkreise des Telephons ein Element eingeschaltet war. Diese Tatsache bereitete den Erklärungsversuchen, auf die wir hier nicht eingehen wollen, große Schwierigkeiten, da aus derselben jedenfalls so viel mit Sicherheit hervorging, daß die bei der Reproduktion in Frage kommenden undulierenden Ströme nicht ausschließlich Entladungsströme der polarisierten Elektrode sind. Es muß hier übrigens auch bemerkt werden, daß der Gedanke, die chemische Wirkung des Stromes zur Reproduktion der Schallwellen zu benutzen, nicht neu war. Diesbezügliche Vorschläge machte beispielsweise K. Fürthner[3]).

Was nun die für den gewöhnlichen Verkehr konstruierten Mikrophone betrifft, so kann es nicht unsere Aufgabe sein, die unzähligen Arten zu erläutern oder auch nur aufzuzählen. Wir können nur auf die telegraphischen Journale bezw. elektrotechnischen Zeitschriften und auf einige empfehlenswerte ältere und neuere Werke hinweisen, aus welchen näheres zu ersehen ist: so u. a. auf „Du Moncel, Le Téléphone“, Paris 1882, auf H. Gretschel, „Das Telephon, das Mikrophon und der Phonograph“, Leipzig 1883,[4]) auf Th. Schwartze, Telephon, Mikrophon

---

[1]) Elektrot. Rdsch. vol. 4 (1887) p. 11.

[2]) Zts. f. Elektrochem. 7 (1901) p. 533—534, p. 534—538, The Electric. 47 p. 260—262, F. d. Phys. 57 II p. 631, Kön. Beibl. d. Phys. 25 p. [66], [122] und [171], Der Mechaniker 9, p. 233—235, Kön. Beibl. d. Phys. 27 p. [137], Vierteljahrsber. d. Wien. Ver. z. Förd. d. phys. u. chem. Unt. 1903 p. 70—72.

[3]) Zts. f. Elektrot. Wien 1890 p. 86—87.

[4]) Quandt und Händels Verlag.

und Radiophon 1883 (6. Bd. d. Elektrot. Bibl.), auf „Das Telephon“ von Maier und Preece 1889, das „Handbuch der Telephonie“ von Wietlisbach (1899 bearb. von R. Weber), das „Handbuch der Elektrotechnik Bd. 12“ von 1901 und die Grundzüge der Telegraphie und Telephonie von J. Rußner von 1902. Sämtliche Typen lassen sich auf zwei Grundtypen zurückführen, indem diejenigen, bei welchen mehr oder weniger große oder mehr oder weniger zahlreiche Kontakte benutzt werden, unter die Kategorie der Kontaktmikrophone fallen,[1]) wogegen die Kategorie der Pulvermikrophone diejenigen Mikrophone umfaßt, bei welchen die Eigenschaft feiner Pulver aus leitenden Substanzen, daß ihr Widerstand mit wachsendem Drucke rasch abnimmt, benutzt wird. Zur Gruppe a) der ersten Kategorie gehören das Hughessche Mikrophon[2]), wohl die einfachste Form, das ursprünglich am meisten verbreitete Blakesche Mikrophon[3]), Aders Sender[4]), der ausgezeichnete Berlinersche Sender[5]) und das Lüdtgesche Mikrophon[6]). Der Gruppe b) der ersten Kategorie gehören der Hunningsche Sender, bei welchem körnige Kohle zwischen der aus Platinblech bestehenden Membran und einer 1,5 bis 3 mm davon entfernten Platte aus Metall bezw. Kohle liegt, und das bekannte Mix & Genestsche Mikrophon an.

Der zweiten Gruppe gehören der 1878 von Righi[7]) angegebene Sender und das Edisonsche Mikrophon an. Righi benutzte sehr feines Pulver aus Silber, Kupfer, Eisen, Kohle, Graphit oder „noch besser eine Mischung letztgenannter Substanzen mit Silber“ und erhielt auch bei relativ langen Leitungen sehr zufriedenstellende Resultate, indem beispielsweise am 7. August genannten Jahres bei einem Versuch auf der Linie zwischen Bologna und Ferrara (47 km) ein zahlreiches Audi-

---

[1]) Zu unterscheiden zwischen a) gewöhnlichen Kontaktmikrophonen und b) Körnermikrophonen.

[2]) Zwei Kontaktpunkte aus sehr poröser Kohle.

[3]) Ein Kontakt aus einem harten Kohlenzylinder, dessen Basis möglichst glatt poliert ist, und einer kleinen Platinkugel.

[4]) Eine größere Zahl von Kohlenstäbchen, welche lose parallel zwischen drei Kohlenleisten liegen.

[5]) Ein leicht bewegliches, an der Berührungsstelle abgerundetes Stäbchen aus Hartkohle, welches, an einem Metallstück hängend, gleichmäßig auf die im Mittelpunkt der einen Schallmembran befestigte harte Kohlenplatte drückt.

[6]) siehe Dingl. Polyt. Journ. Bd. 232 p. 231—235, „Das Telephon, das Mikrophon u. d. Phonograph,“ Verlag von Quandt und Händel, Leipzig 1883, S. 63—65, „Telephon, Mikrophon und Radiophon“ von Th. Schwartze, 1883, Bd. 6 der el. Bibl. S. 152—153.

[7]) C. R. 87 p. 328—329, Ann. de Chim. et de Phys. (5) vol. 15 p. 274—280, Zs. f. angewandte Elektr. Bd. 1 p. 30—34, Righi u. Dessau, Die Telegraphie ohne Draht, 1903 p. 443, L'Ellettricista 15. Okt. 1878, Nuovo Cimento (3) vol. 4 p. 233, Du Moncel, Le Téléphone 1882 p. 138—140.

torium an jeder Endstation an allen Stellen eines großen Saales gleichzeitig deutlich die Töne vernahm, die an der andern Station produziert wurden. Edison bildete Pastillen aus dem bei unvollständiger Verbrennung des Terpentins entstehenden Ruß, legte die etwa 18 mm im Durchmesser betragende und 2 mm dicke Pastille zwischen zwei gleich große Scheiben aus harter Kohle und ließ die Schallschwingungen durch einen auf der Sprechmembran sitzenden metallischen Ring und die oberste Kohlenscheibe auf das Kohlenpulver fortpflanzen, so daß sich der elektrische Widerstand desselben entsprechend den Schallschwingungen änderte. Ch. R. Croß und J. Page haben um die Mitte der achtziger Jahre[1]) die Stärke der in dem sekundären Draht erzeugten Ströme bei Verwendung eines Edisonschen Mikrophons im Primärkreis mit den entsprechenden Sekundärströmen bei Verwendung eines Mikrophons von Blake, eines solchen von Fitch und eines Hunningschen Mikrophons im Primärkreis verglichen, indem die Mikrophonmembran durch die in der Konversation am häufigsten gebrauchten Töne und durch eine Orgelpfeife von 514 Schwingungen pro Sekunde in Tätigkeit gesetzt wurde. Die Stromstärke wurde, sobald die Tonhöhe und die Intensität des Stromes konstant geworden war, mittels eines Unifilar-Elektrodynamometers von F. Kohrausch gemessen. Die mittleren Werte für die drei bekannteren Geber in Ampère sind in folgender Tabelle dargestellt.

Mikrophon	a	o	u	i	Orgelpfeife
Edison	0,000 088	0,000 123	0,000 144	0,000 072	0,000 072
Blake	0,000 123	0,000 144	0,000 144	—	0,000 132
Hunnings	0,000 737	0,000 787	0,000 503	0,000 213	0,000 556.

Wenn man nun bedenkt, wie außerordentlich abhängig sich nach Auerbachs Messungen über die Leitung von Pulvern[2]) die elektrische Leitfähigkeit des Silberpulvers von seiner Dichte erwiesen hat, indem beispielsweise einer relativen Dichte von 0,070 ein relativer Leitungswiderstand von 72 700 000 000, einer relativen Dichte von 0,204 ein relativer Widerstand von 14 840 und einer relativen Dichte von 0,479 ein relativer Widerstand von 468 entsprach, so erstaunt man wohl zuerst über die relativ schwachen Resultate des Edisonschen Mikrophons. Man ersieht aber schon aus diesen Zahlen, daß die Empfindlichkeit gegen Druckänderung sich umsomehr verringert, je größer der Anfangsdruck bezw. je geringer die Anfangsdichte ist. Ja, von einer gewissen Dichte an nähert sich der Widerstand demjenigen des festen Körpers. So findet man den Schlüssel zur Lösung des rätselhaften Verhaltens vom Edisonschen Mikrophon in dem Umstande, daß die Pastillen schon im normalen Zustande

[1]) Proc. Am. Ac. 21, 1885, p. 248 u. f., Eng. 41 p. 17, Dingl. Pol. J. 259 S. 520, Lum. Él. 23 p. 533—534, Telegraph. Journ. 1885 Bd. 17 p. 413.

[2]) Wied. Ann. 28 (1886), S. 604—613.

stark gepreßt sind. Genauere Versuche mit diesen Rußpastillen bei bestimmten darauf ausgeübten Drucken stellte Mendelhall[1]) an. Er fand dabei, daß eine Druckänderung von 5 cm Hg. den Widerstand von 6 Ω auf 3 Ω herabminderte. Diese Widerstandsänderung ist allerdings ganz bedeutend geringer als die von Auerbach[2]) für Silberpulver gefundene, aber dieselbe ist doch nicht ganz unerheblich. Sicherlich war bei den Mendelhallschen Versuchen, die übrigens schon mehrere Jahre vor den eben genannten Veröffentlichungen begonnen wurden[3]), auch eine Veränderung der Berührungsfläche der Pastille mit den Stromzuführungen im Spiel. Mendelhall[4]) scheint zuerst feste Kontaktstücke als Stromzuführungen benutzt zu haben, vermittelte allerdings später[5]), wie es nach Thompsons Angaben Barrett getan hat, die Zuleitung zur Pastille durch Quecksilber. — Aus allem geht nun jedenfalls genügend hervor, daß offenbar bei der Betätigung des Edisonschen Mikrophons die Änderung der Berührungsfläche zwischen Pastille und Elektroden eine nicht zu vernachlässigende Rolle spielt. Andererseits erscheint uns aber doch, entgegen der Meinung von Silv. Thompson[6]), und im Anschluß an die Auffassung von Wietlisbach gerade bei diesen Pastillen eine mit Druckänderungen Hand in Hand gehende Widerstandsänderung der Pastillenmasse durchaus nicht ausgeschlossen.

Dabei würde es allerdings noch in Frage stehen, ob es sich um eine Lagenänderung der Rußteilchen, aus denen die Pastillen gepreßt wurden, oder um eine Änderung des spezifischen Widerstandes der Masse handelt. Unseres Erachtens würde jedenfalls der erstere Punkt bei der Beurteilung der Endwirkung eines Druckes besonders ins Gewicht fallen. Die Änderung des spezifischen Widerstandes der Kohle unter Druckwirkungen ist früher vielfach behauptet worden, wenn auch W. Siemens bereits 1880 in einer Arbeit über die Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit der Kohle von der Temperatur[7]) an der Hand seiner Versuche gezeigt hatte, daß sich die spezifische Leitfähigkeit der Kohle selbst bei starkem Druck nicht ändert. Auch Silvanus Thompson[8]) behauptet, daß bei seinen Versuchen mit Kohle, wenn er nur sichere, angelötete Zuleitungen benutzte, Druckwirkungen auch nicht die geringste Änderung des elektrischen Widerstandes hervorbrachten. Diesen Ansichten

[1]) Sill. J. (3) 32 p. 218—23, Engin. 42 p. 533, Lum. él. 24 p. 595—596, Cim. (3) 23 p. 169, J. de Phys. (2) 6 p. 249.

[2]) Wied. Ann. 28, 1886 S. 607.

[3]) Sill. J. (3) 24 p. 43—46, J. de Phys. (2) 2, 144—145.

[4]) Phil. Mag. 22 p. 358.

[5]) Lum. él. 24 p. 596.

[6]) Sill. J. (3) 24 p. 433—434, F. d. Phys. 38II, S. 555—557.

[7]) siehe Wied. Ann. Bd. 10 S. 560—574.

[8]) Phil. Mag. Sér. 5 Bd. 13 p. 262—265.

stehen allerdings die einen durchaus zuverlässigen Eindruck machenden Beobachtungen Tomlinsons in der Nature vol. 25 entgegen, aus denen doch eine, wenn auch[1]) nur äußerst geringe Abhängigkeit des spezifischen Widerstandes der Kohle vom Druck hervorgeht. Allerdings bedarf es sehr empfindlicher Methoden, um diese Abhängigkeit festzustellen. Einige Jahre später[2]) gibt er an, daß bei harten Kohlenstäben ein Druck von 1 g auf 1 qcm eine Abnahme des Widerstandes um 0,00000064 % bewirkt und daß bei einer Belastung von 500 Pfund auf einen Quadratzoll, welche zum Zerdrücken erforderlich wäre, der elektrische Widerstand unter der Annahme, daß die Widerstandsabnahme der Druckzunahme proportional verläuft, um weniger als $^1/_4$ % abnehmen würde. Summa summarum läßt sich behaupten, daß die durch den Druck bedingte spezifische Widerstandsänderung, wenn sie auch für verschiedene Kohlen etwas verschieden ausfallen mag, von keinem Belang für die Wirkungsweise des Mikrophons ist, wie es in dem großen Telephonprozeß in England und Amerika[3]) von Sir William Thomson, King u. a. behauptet wurde, welche annahmen, daß die Kohlenstäbe in ihrer ganzen Ausdehnung durch die Schallwellen zusammengepreßt würden und nun wegen der großen Empfindlichkeit der Kohle gegen Druck die Leitfähigkeit des Systems entsprechend den Schallschwingungen verändert würde. Daß die Kontaktstelle die eigentliche Rolle bei diesen Vorgängen spielt, unterliegt heute keinem Zweifel mehr. Schwieriger ist es, genau die Vorgänge an der Kontaktstelle anzugeben, da dieselben allem Anschein nach recht verwickelter Art sind. Hier seien nun nur kurz die Hauptgesichtspunkte erwähnt, welche für das Verständnis der Wirkungsweise des Mikrophons in Betracht kommen. Fest steht erstmal, daß die den Schallschwingungen entsprechenden Druckschwankungen im Mikrophonkontakt entsprechende Widerstandsschwankungen hervorrufen. Nun kann man einmal versuchen, die Beziehungen zwischen Druck und Widerstand festzustellen, oder aber diejenigen zwischen der an die Kontakte angelegten elektromotorischen Kraft und dem elektrischen Widerstand der Kontaktstelle, oder aber man kann beispielsweise den Einfluß untersuchen, welchen verschiedenes Leitermaterial und verschiedene Form, Größe oder Anzahl der Kontaktstücke auf die Stärke bezw. Güte der Lautübertragung ausüben; man kann weiter untersuchen, wie sich der Kontakt in verschiedenen Medien — Luft unter normalem Druck, verdünnter Luft, trockener oder feuchter Luft, Wasser — verhält usw. Man wird dadurch jedenfalls gute Anhaltspunkte für die Praxis gewinnen können. Eine andere Aufgabe besteht darin, das Zusammen-

[1]) Nature 25 p. 459—460.
[2]) Phil. Mag. vol. 22 (1886) p. 442—450.
[3]) siehe E. T. Z. 1883 S. 386—387.

wirken der verschiedensten Faktoren bei der Wirkungsweise dieser Art von Apparaten, d. h. den inneren Mechanismus, gebührend zu überblicken, um eine jedenfalls annähernd richtige Mikrophontheorie aufstellen zu können. Aber davon sind wir noch weit entfernt, da offenbar die Einzelbeziehungen noch lange nicht genügend untersucht sind, so seltsam das auch vielleicht klingen mag.

So viel allerdings hat sich mehr und mehr herausgestellt, daß man im Hinblick auf die Sicherheit des Betriebes und auf die Verwendung nicht zu geringer Stromstärken auf eine möglichst große Zahl von Kontaktpunkten abzielen muß. Bei der Vermehrung der Kontakte bei den Kohlenwalzen- und ähnlichen mehrkontaktigen Mikrophonen wird aber der Vorteil mehr oder weniger illusorisch gemacht durch die Vergrößerung der vibrierenden Massen. Deshalb ist man mehr und mehr dazu übergegangen, sehr kleine Kontaktkörper anzuwenden, so daß man bei relativ kleiner zu bewegender Masse relativ viele Kontaktpunkte hat. So stellt unsere Reichspostverwaltung mehr und mehr Kohlenkörnermikrophone in Betrieb; Pulvermikrophone allerdings, welche gewissermaßen eine Fortsetzung des eben besprochenen Prinzips bis zur letzten Konsequenz bedeuten, finden, soweit wir wissen, bei uns keine Verwendung. Handelt es sich um eine sehr laute Wiedergabe der Sprache, so kommt man mit den gewöhnlich benutzten Stromstärken (0,1—0,2 Ampère) nicht aus, sondern muß ganz erheblich weiter gehen, da die gewöhnlichen, relativ schwachen Ströme nicht kräftig genug sind, um den Empfangsapparat genügend zu betätigen. So handelte es sich beispielsweise bei Germain[1]) darum, seinen Empfangsapparat durch so kräftige Ströme zu betätigen, daß dasselbe Verwendung finden konnte für ein großes Auditorium im Freien, beispielsweise für einen Konzertgarten. Sein Gebeapparat besteht daher aus mehreren (etwa 4) nebeneinander angeordneten Mikrophonen. Jedes ist mit einer besonderen Schallplatte versehen, von denen jede durch einen schrägen Kanal mit einer entsprechenden Öffnung des Mundstücks verbunden ist. Der starke Gesamtstrom, den Germain nun benutzen kann, ist, da er sich verteilt, in jedem einzelnen Mikrophon relativ gering und bietet nicht die Gefahr, durch Verbrennung der Kohle allmählich die Kontakte zu verderben. Die Leistungen dieser Apparate sind ganz überraschend gewesen, und es mag noch erwähnt sein, daß die Schwingungen des Empfangstelephons auch hingereicht haben sollen, um auf der Phonographenwalze kräftige Eindrücke zu hinterlassen. Es darf nicht unerwähnt bleiben, daß außer der Lautstärke auch die Reinheit in der Wiedergabe der gesprochenen Worte sehr gerühmt worden ist. Auffälliger-

[1]) s. La Nature 1899, Prometheus vol. 10 p. 568—570, F. d. Phys. 55 I p. 683—684.

weise hat man neuerdings nicht mehr viel von der Germainschen Erfindung gehört.

Über alle Zweifel erhaben ist bekanntlich die Tatsache, daß ein auf die Mikrophonkontakte ausgeübter Druck eine Verminderung des Übergangswiderstandes hervorruft. Dies haben außer andern Beobachtungen die von Bidwell[1]) wesentlich an Kohlen- und an Wismutkontakten angestellten Messungen zur Genüge dargetan. P. L. Rijke[2]) fand bei Belastung eines Mikrophonkontaktes mit verschiedenen zwischen 0,25 und 10 Gramm liegenden Gewichten folgende Beziehung zwischen dem Druck (d) und dem Übergangswiderstand (w): $w = 1{,}98 + 6{,}91 \cdot d^{-1}$.

Von größter Wichtigkeit im Hinblick auf die Anpassung mikrophonischer Apparate an verschiedene Zwecke ist das von Bidwell sowohl für Kohlen- als auch für Metallkontakte aufgestellte Gesetz, daß Druckänderungen verhältnismäßig große Widerstandsänderungen bedingen bei relativ schwachem Anfangsdruck und bei relativ schwachen die Kontakte durchfließenden Strömen. Dem entspricht offenbar die von uns zur Genüge konstatierte Tatsache, daß man beim Experimentieren mit losen Kontakten Erschütterungsstörungen besonders stark ausgesetzt ist, wenn man mit schwachen Strömen und mit geringem Anfangsdruck arbeitet. Bidwell untersuchte auch genauer den Einfluß der Stromstärke auf den elektrischen Widerstand der Kontakte, wobei er zu dem Resultat gelangte, daß in beiden Fällen — bis auf eine hier nicht weiter zu diskutierende Ausnahme, wo ein relativ starker Strom bei gewissem, von der Stromstärke abhängigem Druck eine plötzliche, unendliche Widerstandszunahme bedingt — eine Stromvermehrung eine Widerstandsabnahme herbeiführt. Zu dem nämlichen Resultat gelangten auch wir neuerdings bei Untersuchungen über Kohlenkontakte, die auch zum Teil mit weit schwächeren Strömen ausgeführt wurden, und die nämliche Beziehung hat 1889 B. Nebel[3]) nicht nur für Gleichstrom, sondern auch für Wechselstrom festgestellt, indem er die scheinbar jeder Begründung entbehrende Ansicht Moussons[4]), daß einer Stromzunahme eine Widerstandsvermehrung entspreche, ad absurdum führte. Er versuchte hier auch[5]) nachzuweisen, daß im Mikrophonkontakt eine elektromotorische Gegenkraft wirksam ist, so daß man annehmen müßte, daß die Widerstandsänderung bei Stromdurchgang jedenfalls zum Teil nur scheinbar ist. Einige

[1]) Proc. of the Roy. Soc. of Lond. vol. 35 (1883) p. 1—18, The Electrician vol. 10 p. 296, Nature vol. 27 p. 376—377, Naturf. 1883 p. 270—271, The Electric. vol. 10 p. 547—550 u. 572—574.

[2]) Arch. Néerl. vol. 14 p. 76—96, Beibl. d. Phys. vol. 3 p. 716—717.

[3]) Zentralbl. f. Elektrot. vol. 12 p. 254—257.

[4]) Mousson, Die Physik auf Grundlage der Erfahrung, 3. Aufl. Bd. 3 p. 788.

[5]) s. auch Heaviside, The Electrican vol. 10 p. 293—296, F. d. Phys. 39 II p. 660.

scheinbare Ausnahmen in bezug auf die Widerstandsveränderung bei Stromdurchgang fand Nebel beim Hughesschen Mikrophon, die er wohl mit Recht auf die bei diesem Apparat relativ leicht eintretende Verlagerung der Kohlenstäbchen schiebt, ergaben doch auch die Einzelwerte bei diesem Apparat so starke Differenzen gegeneinander wie bei keinem der anderen von ihm verwandten Mikrophone. Ähnliches mag auch Mousson erlebt und zu rasch verallgemeinert haben. Bemerkt sei hier übrigens noch, daß auch Boekmann[1]) bei seinen Untersuchungen über den elektrischen Widerstand des Mikrophonkontaktes während der Bewegung eine Abnahme des Widerstandes mit wachsender Stromstärke fand. Da nun Untersuchungen bei konstant gehaltenem Strom und variablem Druck eine Widerstandsabnahme bei wachsendem Druck ergeben haben, und da ebenfalls eine Widerstandsabnahme eintritt bei konstantem Druck und wachsender Stromstärke, so kann man sich vorstellen, daß bei der Verwendung des Mikrophons in der Praxis ein auf die Kontaktstelle ausgeübter Druck eine Widerstandsabnahme hervorruft und daß das dadurch bedingte Anwachsen des Stromes eine weitere Widerstandsabnahme bedingt. Zu einem guten Funktionieren bedürfen nun die verschiedenen Zwecken dienenden Mikrophone eines verschiedenen Anfangsdrucks bezw. einer verschiedenen angelegten elektromotorischen Kraft. Blyth[2]) hat gezeigt, wie sehr der Druck den verschiedenen Anwendungen angepaßt sein müsse, indem er z. B. darauf hinwies, daß der großen Empfindlichkeit entsprechend, welche nötig ist, um das Laufen eines winzigen Insekts zu hören, nur ein sehr gelinder Anfangsdruck auf die Kontakte ausgeübt werden dürfe, während für die Übertragungen der menschlichen Stimme total verschiedene Bedingungen erfüllt werden müßten.

Messungen über die Beziehungen zwischen der Stärke des sekundären Stromes, welcher das zugehörige Telephon durchfließt, wenn das Mikrophon durch eine mit konstantem Anblasedruck zum Tönen gebrachte Orgelpfeife betätigt wird, und dem Druck, mit welchem der Kohlekontakt eines Blakeschen Mikrophons zusammengehalten wird, wurden von G. W. Patterson und H. J. Tucker[3]) angestellt. Ein sehr empfindliches Elektrodynamometer diente zum Messen der Stromintensität. Es stellte sich bei diesen Untersuchungen heraus, daß die Stärke der Induktionsströme zunächst bei steigendem Druck rasch bis zu einem Maximum anwächst, um alsdann bei weiterer Druckzunahme langsam abzunehmen. Das Optimum der Lautübertragung lag in der Nähe des Maximums, und zwar im steigenden Ast.

---

[1]) Wied. Ann. Bd. 23 p. 651—665.

[2]) Nature vol. 18 p. 172—173, Beibl. d. Phys. vol. 2 p. 520—521.

[3]) Proc. Amer. Acad. 15 p. 228—236, Rundsch. 4 (1889) p. 101, Lum. él. vol. 28 p. 332—333.

Ähnliche Versuche wurden auch von Ch. R. Cross und Annie W. Sabine[1]) mit Mikrophonkontakten aus Kohle, Platin, Eisen und Kupfer angestellt, wobei sich für die verschiedenen Substanzen bei zunehmendem Druck ein ähnlicher Verlauf der Stromkurve im sekundären Kreise herausstellte, indem dieselbe zuerst rasch stieg, um darauf rasch zu fallen. Bei diesen Versuchen diente eine Orgelpfeife als Tonquelle, und die Druckänderung geschah durch Belastung des einen Mikrophonkontaktes. Eine Zusammenstellung der von den vorhergenannten Autoren gewonnenen Resultate hat H. Wuilleumier in Lum. él. vol. 32 p. 272—275 gegeben.

Bei allen diesen Versuchen wurden Elektrodynamometer verwandt, welche wegen der sehr schwachen in Betracht kommenden Ströme recht empfindlich sein müssen und infolgedessen teuer sind. Für den praktischen Telephonbetrieb kommt es aber darauf an, ein möglichst einfaches, bequemes Vergleichsinstrument zu besitzen, zu möglichst rascher Beurteilung der Güte verschiedener Mikrophontypen bezw. verschiedener Induktionsspulen bei Verwendung des nämlichen Mikrophons. Einen solchen Apparat gab Hayes[2]) an, und zwar untersuchte er die Mikrophone bezw. Induktionsrollen dadurch, daß er den sekundären Strom durch eine feste Spule gehen ließ, welche in einer dritten, beweglichen und durch ein Telephon geschlossenen Spule einen Strom induzierte. Bei einem gewissen Abstand der beweglichen von der festen Spule, der aber natürlich für verschiedene Beobachter je nach der Güte ihres Gehörs verschieden sein kann, verschwindet der Ton im Telephon. Für einen und denselben Beobachter bleiben aber andererseits die einzelnen von ihm angestellten Messungen untereinander vergleichbar, und so geben ihm die Entfernungen, bis zu welchen die bewegliche Spule gerückt werden muß, um das Telephon zum Schweigen zu bringen, ein Maß für die Güte der Apparate bezw. der Schaltungsweise. Roux[3]) verbesserte die von Hayes vorgeschlagene Methode, indem er als Maß nicht die Stellung des zum Schweigen gebrachten Telephons, sondern den Ausschlag eines Galvanometers benutzte. Damit aber das Galvanometer durch die wechselnden Induktionsströme (die Summe der Ströme ist für jede Periode $= 0$) zum Ausschlag gebracht werden kann, muß der das Galvanometer durchfließende Strom für einen bestimmten Bruchteil jeder Periode unterdrückt werden. Dies führt Roux an der angegebenen Stelle weiter aus.[4])

---

[1]) Proc. Amer. Ac. vol. 22 (1889) p. 90—93, 94—104, Beibl. d. Phys. 13 p. 737—738.

[2]) Zentralbl. f. Elektrot. 10 p. 651—652, Lum. él. vol. 28 (1888) p. 394—395.

[3]) Zentralbl. f. Elektrot. 11 (1889) p. 433—436.

[4]) s. auch Zentralbl. f. Elektrot. 10 p. 612, Lewandowski, Die einfachste Methode zur Erzielung gleichgerichteter, galvanometrisch meßbarer Induktionsströme.

Preece[1]) stellte Versuche über die Lautstärke einiger Mikrophone an, indem er bei einer künstlichen Leitung mit induktionslosen Widerstandsspulen und Kondensatoren bestimmte, wie groß das Produkt aus Kapazität und Widerstand sein muß, damit eine deutliche Sprachübertragung gerade aufhört. Des weiteren können wir uns hier nicht über diesen Gegenstand verbreiten, doch sei noch hingewiesen auf die Messungen von J. Cauro[2]), welcher mit teilweise neuen Apparaten (Oszillograph, Mikrophonrelais usw.) die verschiedensten Faktoren untersuchte, die bei der Tonübertragung durch das Mikrophon in Frage kommen und die sich zum großen Teil auf den Einfluß beziehen, welchen Stärke und Höhe der Töne auf das Mikrophon ausüben. Erwähnt sei auch noch eine neuerdings von E. Wiersch veröffentlichte Arbeit über die Deutlichkeit akustischer Reproduktionen unter dem Einfluß der Eigentöne sowie über Membranen zur möglichst deutlichen Wiedergabe der Sprache.[3]) An dieser Stelle sei schließlich auf das bereits erwähnte Einthovensche Saitengalvanometer[4]) hingewiesen, welches voraussichtlich noch große Dienste bei der Vergleichung verschiedener Mikrophone leisten und sich überhaupt mehr und mehr als ein sehr wertvolles Hilfsmittel für elektroakustische Untersuchungen herausstellen dürfte.

Zur Prüfung der richtigen Empfindlichkeit des Mikrophonkontaktes schlug Hughes das Galvanometer vor. Die Schwankungen der Sprache wird das Galvanometer selbstverständlich nicht anzeigen. Ist aber der Druck zu gering, so werden leicht Unterbrechungen des Kontaktes durch die Schallschwingungen eintreten, so daß also die Galvanometernadel ausschlägt. Steigert man nun den Druck etwas, so werden durch das Galvanometer noch immer Stromunterbrechungen angezeigt. Im Telephon wird man relativ laute Töne vernehmen, aber die Deutlichkeit der Übertragung wird zu wünschen übrig lassen. Bei weiterer Drucksteigerung nimmt nach Hughes die Deutlichkeit nach und nach zu bis zu einem Punkt, wo bei möglichst großer Deutlichkeit und zugleich Intensität die Galvanometernadel stationär ist. Verstärkt man den Druck noch weiter, so sollen die Töne allerdings noch deutlich sein, aber schwächer und schwächer werden, bis bei einem gewissen Drucke das Mikrophon ganz unempfindlich ist. Man soll dieses Experiment bequem mit jedem einfachsten Mikrophon und einer Taschenuhr vornehmen können. Es ist ja selbstverständlich, daß direkte Strom-

---

[1]) s. E. T. Z. 13 p. 234, Handbuch „Das Telephon“ und E. T. Z. 15 p. 292.

[2]) Éclair. électr. 19 p. 295—302, 333—337 u. 410—416, Journ. de phys. (3) vol. 8 p. 413—416, Séances soc. franç. de phys. 1899 p. 55—56 u. 112—115, F. d. Phys. 55 I p. 685, Wied. Beibl. 23 p. 599.

[3]) Drud. Ann. Bd. 17 p. 999—1004.

[4]) s. Phys. Zts. 1906 p. 115—122 u. Drud. Ann. 12 p. 1059—1071, 1903.

unterbrechungen der Übertragung der feinsten Sprachmodulationen im Wege stehen werden, und gerade diesem Umstande wird auch die schlechte Sprachübertragungsfähigkeit des Reisschen Transmitters zugeschrieben.[1])

Über die Leistungen dieses Transmitters erfahren wir näheres aus der E. T. Z. 2 (1881) p. 480—481, wo die wichtigsten Entwicklungsstufen des Fernsprechwesens beleuchtet sind, aus dem Januarheft des 123. Bandes des Journal of the Franklin Institute (1887) bezw. einem Auszug aus diesem Artikel im 8. Band der E. T. Z. p. 138—140, worin die diesbezüglichen Ansichten Houstons und Paddocks besprochen werden, aus der E. T. Z. vol. 9 p. 256—258, wo Grawinkel die Beurteilung des Reisschen Telephons in der Entscheidung über die Belltelephonprozesse kritisch beleuchtet, aus der Deutschen Verkehrszeitung von 1897 und aus der E.T.Z. vol. 18 (1897) p. 515—516, wo ein Herr Sabarly, ein Schüler von Reis, eine kurze Darstellung der telephonischen Versuche seines Lehrers gibt. Daß Ph. Reis bemüht war, nicht nur Musik, sondern auch die Sprache zu übertragen, kann als absolut feststehend gelten. Auf diesem Standpunkt steht auch Silvanus Thompson, der in einer besonderen Schrift[2]) seine Verdienste gewürdigt hat, und u. a. auch Preece[3]). Andererseits aber scheint es allerdings, daß es ihm, so klar und zielbewußt er auch über die Vorgänge beim Sprechen nachdachte, doch kaum genügend vor Augen stand, daß vor allem für die Sprachübertragung ein Öffnen und Schließen des Stromes nicht genügte, sondern daß es auf das richtige Variieren in der Stromstärke ankommt, daß also mit andern Worten nicht intermittierende, sondern undulierende Ströme nötig sind. Die zweite Form seines Transmitters gab in der Tat[4]) wesentlich bessere Resultate als die erste, weil hier der Platinkontakt nicht von vornherein von der Membran abstand, sondern auf derselben ruhte, und weil es möglich war, die die Metallscheibe tragende Membran nach Belieben stärker oder schwächer zu spannen, so daß also die Möglichkeit der „Änderungen der Stromstärke innerhalb bestimmter Grenzen und in bestimmter Form", d. h. undulierender Ströme, bedeutend größer war als bei der ersten Form. Daß eine Übertragung

[1]) s. über das Telephon von Ph. Reis: The Electrician X p. 467,468—469, 493—494 u. 566—567, Jahresber. des Physikal. Ver. zu Frankfurt a. M. 1860/61 p. 57—64, F. d. Phys. 17 p. 171—173, Dingl. Journ. vol. 169 p. 378, Bertin, Sur les Téléphones, Annales de Chim. et de Phys. (5) vol. 13 p. 59—67 (1878), Schenk, Ph. Reis, der Erfinder des Telephons, Frankfurt a. M. 1878 p. 1—16, El. Rundsch. vol. 1 (1883/84) p. 52—57, Jahresber. des Physik. Ver. zu Frankfurt a. M. 1894/95 p. 78—84, 85—86 u. 87—90, Jahresber. des Physik. Ver. zu Frankfurt a. M. 1897/98 (Sonderabdruck „Das Telephon, eine deutsche Erfindung").

[2]) Philipp Reis, Inventor of the telephone, 1883.

[3]) s. sein Lehrbuch der Telephonie.

[4]) s. El. Rundsch. vol. 3 (1886) p. 126—129.

der Sprache in gewissem Grade möglich war, ist (s. die angeführten Arbeiten) nach S. Thompson unter andern von Quincke konstatiert worden, ebenso auch von Hughes[1]), und auch Wietlisbach hat sich dahin geäußert, daß das Reissche Telephon sich unter günstigen Bedingungen mehr oder weniger einem Mikrophon nähern kann, woraus er die zahlreichen Gegensätze in der Beurteilung dieses Gegenstandes erklärt. Mit bescheidenen Resultaten hatte es allerdings sein Bewenden, es wurden aber doch Worte übertragen. Erinnert sei hier daran, daß 1854 in den Applications de l'Électricité von Du Moncel über Ideen berichtet wurde, welche Charles Bourseuil über eine elektrische Übertragung der Sprache hatte, indem eine durch die Sprache in Schwingung versetzte Membran abwechselnd einen elektrischen Strom öffnen und schließen sollte. Weit über diese Idee scheint Bourseuil indes nicht hinausgekommen zu sein, während hingegen Reis unermüdlich und zielbewußt fortarbeitete und immer und immer wieder seine Apparate verbesserte, trotzdem er in den dürftigsten Verhältnissen lebte. Übrigens hat man bei späterer Gelegenheit bedeutend besser ausfallende Versuche mit dem Reisschen Telephon angestellt, indem man durch Anbringung eines Nebenschlusses Stromunterbrechungen vermied.[2]) Es sei hierbei gleich erwähnt, daß viel später Cuttriss Stromunterbrechungen, welche zur Funkenbildung und zu störenden Geräuschen im Telephon Veranlassung geben, dadurch vermied,[3]) daß er in seinem Kohlenmikrophon ohne Kontaktflächen spiralförmig gewundene Kohlenstäbchen benutzte, deren Enden in fester Verbindung mit dem sonstigen Stromkreis standen und deren einzelne Windungen derart in loser Berührung miteinander standen, daß der Widerstand der Spirale durch Ausziehen bezw. festes Zusammendrücken zwischen 5 und mehr als 500 Ω variiert werden konnte und daß neuerdings[4]) zur Erreichung einer dauernd zuverlässigen Wirkungsweise des Mikrophons mit überraschend günstigem Erfolg ein Nebenschluß verwandt worden ist. Bell kommt das große Verdienst zu, klar die Notwendigkeit von Stromundulationen ohne Unterbrechungen für die Übertragung der Sprache erkannt zu haben, und diese Anschmiegung an die Sprachmodulationen erreichte er bekanntlich durch sein 1876 patentiertes Telephon, in welchem durch die Schallschwingungen der Eisenmembran in einer Spule Induktionsströme erzeugt wurden, welche, in die Rolle eines gleichartigen Apparates geleitet, den Magnetismus eines Stahlstabes

---

[1]) Zts. f physik. u. chem. Unterr. vol. 8 (1894/95) p. 321—322.

[2]) s. E. T. Z. 11 p. 49; s. auch Dolbears ausgezeichnete Resultate mit einem etwas veränderten Reisschen Transmitter, Zentralbl. f. Elektrot. Bd. 7 p. 248—252.

[3]) F. d. Phys. 48 I (1892) Electr. Engin. 12 p. 646, Dingl. Polyt. Journ. 284 (1892) p. 47—48.

[4]) Stosberg, E. T. Z. 25 p. 91.

entsprechend änderten und eine davor liegende Eisenmembran in entsprechende Schwingungen versetzten.[1]) Edison suchte den nämlichen Zweck zu erreichen durch tropfenweise Einführung von Wasser zwischen die Platinspitze und das Diaphragma des Reisschen Transmitters. Es gelang ihm auch, artikulierte Laute zu übertragen, aber die Resultate befriedigten ihn nicht. Übrigens soll bereits im Jahre 1865[2]) ein Instrumentenmacher namens Yeates ein Reissches Telephon älterer Konstruktion zur Umwandlung des intermittierenden in undulierenden Strom dadurch modifiziert haben, daß er zwischen den Kontaktstift und das auf der Membran liegende Metallplättchen einen Tropfen schwach angesäuerten Wassers brachte, und es soll ihm die Übertragung mehrerer Worte vor der Dubliner Philosophischen Gesellschaft ziemlich gut gelungen sein. Das nämliche Prinzip wandte E. Gray bei seinem[3]) Batteriefernsprecher an. Recht gute Resultate erreichte Edison mit seinem Kohlentelephon[4]), bei dem die schwingende Platte gegen eine Kohlenscheibe anlag. Edison schrieb den Effekt dem veränderlichen, auf die Kohlenmasse ausgeübten Druck zu, wogegen Hughes zeigte, daß sich die wesentlich in Betracht kommenden Veränderungen an der Kontaktstelle abspielen. Später haben manche Erfinder versucht, zu zeigen, daß eine einfache Stromunterbrechung zur Übertragung der Sprache genüge. Es sei beispielsweise an das Bontamikrophon[5]) erinnert, bei dem eine in einer Rinne laufende Kohlenkugel nach Angabe des Erfinders beim Sprechen in dauerndes Hin- und Herrollen geraten soll, wodurch gerade eine gute Wiedergabe der Sprache bedingt sein soll. Nach der E. T. Z. muß aber doch der Erfinder bei diesem Arrangement unbefriedigende Resultate gehabt haben, da er nach einem Patent eine schwere Kugel benutzt, welche die Kohlenkugel an den auf der Membran befestigten Kohlenstift andrückt, und in einem andern Patent eine andere Maßregel anbringt, um ein Fortbewegen der erwähnten Kohlenkugel vom Kohlenstift zu verhindern.

Was nun die Verwendung verschiedener Materialien für Mikrophone betrifft, so mögen zunächst Bidwells diesbezügliche Ansichten erwähnt werden.

---

[1]) Nature 17 p. 135, Chem. News vol. 36 und Naturf. 1877 p. 469—470 usw.

[2]) s. das erwähnte Werk über Telephonie usw. von 1883 p. 13—14.

[3]) s. Journ. of the Amer. Electr. Soc. vol. 1 p. 1 u. f., Sillim. J. (3) vol. 11 p. 162.

[4]) s. über seine telephon. Erfindungen Zentralbl. f. Elektrot. 7 (1885) p. 535—540 u. 559—563.

[5]) E. T. Z. 8 (1887) p. 508, Dingl. Journ. vol. 266 p. 245, F. d. Phys. 43 I p. 562.

In seiner ersten Arbeit finden sich nur genauere Angaben über das Verhalten von Kohle- und Wismutkontakten, welch letztere er außer anderen Gründen deswegen gewählt hatte, da Wismut durch seine leichte Schmelzbarkeit der Kohle am besten gegenübergestellt sei. Sehr markant zeigt es sich bei den in den Proc. of the Roy. Soc. vol. 35 von ihm mitgeteilten Zahlen, daß der elektrische Widerstand bei aufgehobenem Druck nicht wieder auf den ursprünglichen Wert zurückkehrt, daß also bei einem derartigen Mikrophon voraussichtlich eine schlechte Anlehnung an die Schallschwingungen stattfinden würde. Bidwell machte nun wohl, wie es ihm vorgeworfen wurde, den Fehler einer zu großen Verallgemeinerung in bezug auf die Anwendbarkeit von Metallkontakten überhaupt, und es entspann sich daraus ein in der „Nature“ ausgefochtener Streit. Tatsächlich hatte bereits Hughes [1]) mit Vorteil verschiedene Metalle für mikrophonische Zwecke benutzt. Seine ersten Versuche machte er bekanntlich mit drei lose aufeinander liegenden Eisennägeln, und im Phil. Mag. (5) vol. 6 p. 48 gibt er an, daß er die beste Übertragung der menschlichen Stimme bei Verwendung von Goldelektroden erhalten habe. Nach Hughes eignen sich für Mikrophonzwecke auch sehr gut verschiedene Arten poröser Holzkohle, wenn man dieselben dadurch, daß man sie in weißglühendem Zustande in Quecksilber ablöscht bezw. dieselben in einem Zinn oder Zink oder ein anderes sich leicht verflüchtigendes Metall enthaltenden eisernen Tiegel zum Weißglühen bringt, leitend macht. Fichtenkohle [2]) hielt er für die geeignetste für diesen Zweck. Das Metall muß sich offenbar in äußerst feiner Verteilung in den Poren der Kohle befinden, da man dasselbe durchaus nicht sehen kann und selbst mit dem Mikroskop nicht soll entdecken können. Wir haben mit gutem Erfolg Weidenkohle und Fichtenkohle in der angegebenen Weise mit Quecksilber behandelt. Die nämliche Prozedur wurde ohne Erfolg mit Lindenkohle vorgenommen. In diesem letzteren Fall sah man überall Quecksilberkügelchen in den Poren, offenbar fehlte aber der nötige Grad der Feinheit in der Verteilung, damit Stromleitung eintritt. Unseres Wissens sind bisher noch keine Versuche darüber angestellt worden, ob sich Kontakte aus in eben beschriebener Weise leitend gemachter Holzkohle in ihrer Wirkungsweise mehr den gewöhnlichen Kohle- oder den Metallkontakten nähern, was doch wohl von theoretischem Interesse sein dürfte. Bei dieser Gelegenheit mag

---

[1]) siehe seine diesbezügl. Arb.: Chem. News vol. 37 p. 197, Beibl. d. Phys. 12 p. 363, Naturf. 11 p. 211, Phil. Mag. (5) vol. 6 p. 44—50, Beibl. d. Phys. 2 p. 520, Naturf. 11 p. 317, Chem. News 37 p. 246.

[2]) Phil. Mag. (5) vol. 6 p. 45, Dingl. Polyt. Journ. 231 p. 473, Compt. Rend. 86 (1878) p. 1176—1180.

auch daran erinnert werden, daß[1]) P. Germain vor einigen Jahren für mikrophonische Kontakte eine Mischung von Kohle und Metall vorschlug, wobei entweder das Metall in sehr fein verteiltem Zustand innig mit der Kohle vermischt oder aber im Innern der Kohle von einem reinen Kohlenüberzug bedeckt angeordnet war. Man hat sich jedenfalls zuerst außerordentlich viel von dieser Kombination von magnetisierbarem Eisen und Kohle im Hinblick auf die Verwendung der Kontakte für ein mikrophonisches Relais versprochen. Von Munro[2]), Silvanus Thompson[3]) und Anders[4]) wurden die verschiedensten Metalle für mikrophonische Zwecke untersucht und ergaben zum Teil sehr gute Resultate. So sei u. a. nur erwähnt, daß Verbindungen von Kupfer mit Tellur oder Selen ganz ausgezeichnete und die mit Kohle erhaltenen bei weitem übertreffende Resultate ergeben haben sollen. In Thompsons Ventilmikrophon[5]) beispielsweise wurden mit gutem Erfolge Phosphorbronze, Schwefelbronze, Siliziumbronze und Selenbronze verwandt, und zwar funktionierte Selenbronze besonders gut. Was Munro betrifft, so benutzte er bei seinen Versuchen mit gutem Resultat Eisengaze und Neusilberdraht als Elektroden, indem die Erwärmung der Berührungsstelle gleichzeitig den nötigen elektrischen Strom erzeugte. Auch fein polierte Silberblöcke sollen gute Dienste geleistet haben, wie wir ja auch bereits sahen, daß de Rossi mit gutem Erfolg Silber bei seinen seismologischen Versuchen verwandte. Aus der El. Rundsch. vol. 4 p. 75 erfahren wir auch, daß sich nach von Rabbidge angestellten Versuchen Kupferkies gut für Mikrophone eignet. Schließlich sei noch ein von P. Colberg[6]) konstruiertes Mikrophon genannt, bei dem zwischen den Elektroden eingeschaltetes Quecksilber oder Quecksilberamalgam durch die große Elastizität die Empfindlichkeit des Kontaktes verstärken soll. Das Diaphragma besteht aus einer sehr dünnen Kohlenplatte bezw. aus Silber, Gold oder Platin, und darunter befindet sich ein Kasten, in welchem die Quecksilber- bezw. Quecksilberamalgamschicht in granulierter Kohle eingebettet ist.

Aus einem die Mikrophoneinwirkungen eingehend behandelnden Artikel in Nr. 47 und 48 des Journal of the Society of Telegraph-Engineers and Electricians 1883[7]) erfährt man, daß im allgemeinen die Metallkontakte an sich für mikrophonische Zwecke eine größere Leistungs-

---

[1]) siehe E. T. Z. 23 (1902) p. 284, D. R. P. Nr. 120696 v. 26. März 1898.

[2]) Engin. vol. 35 p. 252—253, Zs. f. Instr. vol. 3 p. 397, Electrician vol. 10 p. 425—428, siehe auch E. T. Z. vol. 4 p. 309 und Du Moncels Übersicht in Lum. él. vol. 8.

[3]) siehe darüber El. Rundsch. vol. 4 (1887) p. 60—62 und 75—77.

[4]) Dingl. Polyt. Journ. vol. 254 p. 442—443.

[5]) Dingl. Polyt. Journ. vol. 261 p. 465—467.

[6]) s. E. T. Z. 9 (1888) p. 574—575.

[7]) siehe darüber einen Auszug von Borns in E. T. Z. Bd. 5 p. 122—126.

fähigkeit besitzen als Kohlenmikrophone, daß aber andererseits bei den Metallkontakten die schwierige Regelung des passenden Druckes störend ins Gewicht fällt, weil der Abstand, innerhalb dessen die Widerstandsschwankungen vor sich gehen, relativ klein sein soll für gute Leiter; dagegen konstatierte Stroh[1]), welcher in sehr sinnreicher Weise die Bewegungen von zwei Kohlenelektroden gegeneinander durch die Bewegungen eines reflektierten Lichtbildes maß, einen relativ großen gegenseitigen Abstand bei gutem Funktionieren seines Hammer- und Amboßmikrophons. So hat auch Silvanus Thompson, welcher eingehende mikrophonische Untersuchungen anstellte[2]), schon 1883 darauf hingewiesen, daß „die geringe elektrische Leitfähigkeit der Kohle mit den vielgepriesenen guten mikrophonischen Eigenschaften derselben nichts zu tun habe, da doch gerade die am besten leitende Kohle das vollkommenste Mikrophon liefere", und auch Edison hat durch zahlreiche Versuche[3]) gefunden, daß gut leitende Kohlensorten die Sprache besser übertragen als schlecht leitende.

Was nun die dem Mikrophonkontakte benachbarten Medien betrifft, so sei nur auf die Untersuchungen von Hughes[4]), von Blake[5]), von Berliner[6]), von Munro[7]) und von J. Probert und A. W. Soward[8]) hingewiesen. Hughes berichtete in der „Society of Telegraph Engineers" über Versuche, welche er in einem öffentlichen Bade angestellt habe, und bei denen er überrascht worden sei durch die Stärke, mit welcher das unter Wasser getauchte Mikrophon alle möglichen Geräusche (Schließen von Türen, Fußtritte, Stimmengewirr usw.) übertragen habe, woran er noch den Vorschlag knüpfte, Professor Thompson solle sein „108-Mikrophon"[9]) unter Wasser tauchen, statt es durch ein festes Diaphragma zu betätigen. Bekanntlich ist ja das Wasser außerordentlich gut zur Schallübertragung geeignet. Gerade neuerdings sind sehr günstig ausgefallene Versuche gemacht worden mit großen Metallglocken, die an der Schiffswand unter dem Wasserspiegel angebracht waren und

[1]) siehe The Telegr. Journ. and Review vol. 12 Nr. 283 und The Electrician p. 428—429 u. 568—569.

[2]) siehe El. Rdschr. Bd. 4 (1887) p. 60—62 u. 75—77.

[3]) siehe eine ausführliche Übersicht über seine Erfindungen auf telephonischem Gebiet im Zentralbl. f. angew. Elektr. Bd. 7 (1885) p. 535—540 u. 559—563.

[4]) Engin. vol. 43 p. 210.

[5]) E. T. Z. Bd. 9 p. 57.

[6]) Zentralbl. f. Elektrot. 3 (1881) p. 351—353, Electrician XI p. 33, Engin. 35 p. 305.

[7]) Sill. Journ. (3) 26 p. 147, Phil. Mag. (5) 16 p. 23—25, siehe auch Munro u. Warwich, Lum. él. vol. 9 (1883) p. 53—55.

[8]) Soc. of Telegr. Eng. and of Electr. 12. April 1883, Chem. News vol. 47 p. 190, Electrician vol. 10 p. 595—596, s. auch Lum. él. vol. 9 p. 129—130.

[9]) s. Elektrot. Rdsch. vol. 4 p. 60—62.

den durchs Wasser übermittelten Ton eines Läutewerks aufnahmen und mittels telephonischer Übertragung ins Ruderhaus sandten, und man verspricht sich davon viel für die Orientierung bei Nebel. Wir haben selber ein ganz primitives Kohlenmikrophon bis unter die Kontaktstelle in Wasser versenkt und dann das Ticken einer Taschenuhr auf dasselbe wirken lassen. Die Übertragung war zuerst eine ganz erstaunlich gute, jedoch funktionierte der Apparat nach und nach immer schlechter und zuletzt gar nicht mehr. Übrigens ist Blake bei seinen Versuchen, ein geeignetes Mikrophon für die Aufnahme der von großen Glocken ausgehenden Schallwellen bei der Unterseetelephonie zu finden, zu ganz analogen Ergebnissen gekommen, indem er fand, daß die Mikrophone zuerst gute Resultate geben, jedoch binnen kurzer Zeit durch die Wirkung des Wassers völlig unbrauchbar werden. Er schlug darum vor, Steigröhren zu benutzen, durch welche das Wasser in den Schiffskörper eintreten sollte und in welchem die Mikrophone angebracht waren.

Munro zeigte[1]), daß man gut daran tue, gewisse Mikrophone (transmetteurs à grains) in Öl oder Alkohol zu tauchen, wodurch die störenden Geräusche, welche sich bei ähnlichen Apparaten von Hughes zeigten, beseitigt würden, ohne daß man dadurch der Deutlichkeit der Sprachübertragung schadete. Andererseits fand er bei seinen Versuchen mit Metallkontakten[2]), daß wegen der Schwächung, welche Schallschwingungen in zähflüssigen Körpern erleiden, in Glyzerin bezw. Vaselin getauchte Mikrophone eine schlechte Sprachübertragung geben. Erwähnt sei hier, daß Stroh[3]) bei Platinkontakten die von ihm genauer untersuchten Adhäsionserscheinungen[4]) dadurch vermied, daß er einen Öltropfen zwischen die beiden Kontakte brachte.

Berliner stellte mikrophonische Untersuchungen im Vakuum[5]) an — die Größe der Luftverdünnung finden wir im Zentralbl. nicht angegeben — und fand dabei beim Blakemikrophon eine Abnahme des Übergangswiderstandes von 8 Ω auf ca. 7,8 Ω. Es ergab sich aber beim Sprechen mit oder ohne Luftverdünnung kein Unterschied in der Güte der Sprachübertragung, während bei einem Berlinermikrophon aus der Luftverdünnung eine bessere mikrophonische Übertragung resultierte. Eine ganz ausgezeichnete Artikulation fand Munro bei Verwendung von Kontakten aus Eisendrahtgaze bezw. Platin mit Eisenkörnern dazwischen, bei einem Vakuum, welches ungefähr dem millionstel Teil des Atmo-

[1]) siehe du Moncels Bericht Lum. él. vol. 19 p. 54.

[2]) Lum. él. vol. 8 p. 227.

[3]) s. Lum. él. vol. 9 p. 132.

[4]) A. Stroh, Über die Adhäsion der Metalle durch elektr. Ströme, Journ. Telegr. Eng. vol. 9 (1880) p. 182—190, siehe Beibl. 4 p. 678—679.

[5]) Zentralbl. f. Elektrot. 3 (1881) p. 351—353.

sphärendruckes entsprach.[1]) Bei der ersteren Art wurde die Empfindlichkeit des Mikrophons durch einen vor dem beweglichen Kontaktstück angebrachten Magneten erhöht, welcher im Sinne einer Vergrößerung der gegenseitigen Distanz der Kontaktstücke wirkte. J. Probert und A. W. Soward haben den Einfluß von an der Oberfläche der Kontakte kondensierten Gasen auf die Wirkungsweise des Mikrophons mit Hilfe des Audiometers untersucht, wobei sie fanden, daß von feuchter Luft, Kohlensäure, Wasserstoff und trockener Luft erstere durchaus am besten wirkte. Übrigens ist dies Resultat sehr auffällig, wenn man die Tatsache berücksichtigt, daß gewöhnlich Mikrophone besser[2]) in trockener als in feuchter Luft arbeiten und daß es mit großer Schwierigkeit verknüpft sein soll, ein im feuchtwarmen Tropenklima zuverlässig arbeitendes Mikrophon zu konstruieren. Bei einem vor wenigen Jahren[3]) von P. von Kilduchevsky angegebenen Mikrophon waren die Kohlenelektroden von einem in der Mitte der Sprechmembran befestigten Glasrohr umgeben, welches entweder luftleer oder mit indifferentem Gas gefüllt war, um das Verbrennen oder Zusammenbacken infolge des Stromüberganges zu vermeiden. Dadurch sollte die Möglichkeit gegeben werden, stärkeren Primärstrom zu verwenden, um intensivere Telephonströme zu erzielen. Tatsächlich soll sich dieser Apparat bei Verwendung stärkerer Ströme außerordentlich bewährt haben, indem sogar Stromstärken bis zu neun Ampère ohne Nachteil für den Apparat verwandt wurden, wogegen sich derselbe bei Verwendung der üblichen Stromstärken nicht leistungsfähiger als die übrigen Mikrophone zeigte. Die E. T. Z. hebt übrigens hervor, daß Guest-Brooklyn bereits um die Mitte der 80er Jahre ein Mikrophon von gleicher Bauart angab.

Was nun die günstigste Anordnung der Kontakte betrifft, so hat man wiederholentlich versucht, diese Frage mit Hilfe der Theorie zu lösen. Es ist ja offenbar, daß die sich am Mikrophonkontakt abspielenden Vorgänge höchst verwickelter Natur sind, so daß die mathematische Analyse schwierig wird, wenn die in Ansatz zu bringenden Faktoren nicht bekannt genug sind; aber offenbar verhielten sich doch du Moncel und Preece der mathematischen Behandlungsweise gegenüber zu skeptisch. Derartige Untersuchungen wurden von Gaston Belle[4]), von R. Dubois[5]) und A. Dejongh[6]) angestellt, wobei nur erwähnt sei, daß G. Belle von der für die Praxis nicht in Betracht kommenden Voraussetzung ausging,

[1]) s. Sill. J. (3) 26 p. 147, Phil. Mag. Sér. 5 vol. 16 p. 23—25.
[2]) Wietlisbach, Handbuch d. Telephonie (1899) p. 40.
[3]) E. T. Z. 20 (1899) p. 207—208, F. d. Phys. 55 I p. 686.
[4]) Zentralbl. f. angew. El. Bd. 4 (1882) S. 467—470.
[5]) Lum. él. VIII (1883) p. 215—216.
[6]) Lum. él. VIII p. 435—438.

daß die während des Sprechens vorhandenen Widerstandsschwankungen gegen den übrigen Widerstand verschwinden, was man doch gerade nach Möglichkeit zu vermeiden sucht. Die nämliche Voraussetzung hatte übrigens in bewußter Weise — auf den Verstoß gegen die Praxis in beiden Arbeiten hat Wietlisbach aufmerksam gemacht — H. Aron in seiner „Theorie des Mikrophons“ [1]) gemacht. Eine umfassende allgemeine mathematische Behandlung fand die Theorie des Mikrophons durch Wietlisbach [2]), indem er dieselbe sowohl für den Fall behandelte, daß das Mikrophon mit der Batterie und dem Empfangstelephon in dem nämlichen Stromkreis liegt, als auch für denjenigen, daß Mikrophon und Batterie mit dem dicken Transformatordraht einen Stromkreis bilden, während das Telephon mit den dünnen Windungen des Transformators und der Linienleitung in einem besonderen Stromkreis liegen. Dies ist allgemein üblich, da bekanntlich bei der gegenteiligen Anordnung die Widerstandsschwankungen im Mikrophon einen um so kleineren Bruchteil des Gesamtwiderstandes bilden würden, je länger die Leitung wird. Der zweite beträchtliche Vorteil bei der Anwendung eines Transformators liegt bekanntlich darin, daß man bei passender Wahl der Wicklungen die Klangfarbe der Stimme mit sehr geringen Änderungen übertragen kann, wogegen bei Einschaltung des Mikrophons und des Telephons in den nämlichen Stromkreis die tiefen Töne relativ stark wiedergegeben werden. Für eine gute Übertragung kommt es nach Fleming [3]) darauf an, daß der gegenseitige Induktionskoeffizient der Spulen des Mikrophontransformators möglichst groß, dagegen der Selbstinduktionskoeffizient der sekundären Wicklung möglichst klein sei. Das theoretisch mögliche Maximum, welches nach Thompson [4]) dem Fall entspricht, daß die Drähte der beiden Leitungen zusammenfallen, ist $\sqrt{L_1 . L_2}$, wo L_1 und L_2 die Selbstinduktionskoeffizienten der primären bezw. der sekundären Spule bedeuten. Bald darauf konstatierte Pirani [5]), daß bei den üblichen Mikrophonrollen der praktisch erreichte Wert des gegenseitigen Induktionskoeffizienten dem theoretischen Maximum außerordentlich nahe komme.

Es kann selbstverständlich nicht in den Rahmen dieser Übersicht fallen, die Details der in der Praxis üblichen Schaltungsweisen, die an den Vermittlungsanstalten getroffenen Vorkehrungen und dergleichen anzugeben. Ebenso können die Vorrichtungen, um mittels einer und

[1]) Wied. Ann. 6 (1879) S. 403—407.

[2]) Wied. Ann. Bd. 16 S. 592—603, Zentralbl. f. angew. El. 4 S. 203—206, 229—232 u. 286—291; s. auch E. T. Z. vol. 10 p. 378—381.

[3]) F. d. Elektrot. vol 1 p. 286—287.

[4]) s. seinen Vortrag in der Society of Telegraph Engineers and Electricians London, d. 27. Januar 1887; s. über seine Telephonforschungen überhaupt Elektr. Rdsch. vol. 4 (1887) p. 60—62 u. 75—77 von J. Heisig.

[5]) E. T. Z. vol. 8 p. 337, 1887.

derselben Leitung zu telegraphieren und zu telephonieren[1]), sowie die in der neuesten Zeit gemachten Fortschritte in der Telephonie auf weite Entfernungen[2]) nur angedeutet werden, desgleichen die Verwendung des Mikrophons für die drahtlose Bogenlicht-Telephonie[3]). Nur kurz hingewiesen sei auch noch auf die Bemühungen, die elektrischen Wellen für die Übertragung von Tönen bezw. der Sprache auszunutzen, da auch hier das Mikrophon unentbehrlich ist.[4])

B. Das Mikrophon als Relais in der Telephonie bezw. der Telegraphie und seine sonstige Verwendung in der Telegraphie.

Soweit wir bislang die Verwendung des Prinzips loser Kontakte im Verkehrsleben besprachen, wurde das Mikrophon benutzt, um die Sprache an der Gebestation aufzunehmen. Man hat aber auch vielfach versucht, das Prinzip anzuwenden, um die Sprache an der Empfangsstation aufzufrischen bezw. um dieselbe von einer ersten Empfangsstation bis zu einer entfernteren weiterzuleiten. Wir denken hier an das sogenannte Telephonrelais, dessen Idee aufs engste mit der Geschichte der Erfindung des Mikrophons verknüpft ist. Im Januar 1878[5]) hatte Lüdtge ein Patent auf ein Mikrophon und Universaltelephon erhalten, und es war in der Patentschrift entsprechend der Überschrift extra betont worden,[6]) daß sämtliche Konstruktionen auch die Verwendung des „Aufgabeapparates" als „Relais" gestatten, wobei die als schwingende Platte fungierende Platte eines Bellschen Telephons statt durch die Stimme des Sprechenden durch die auf sie wirkenden magnetischen Kräfte beeinflußt wird, welche ihrerseits durch das an der Aufgabestation aufgestellte Mikrophon variiert werden. Diese schwingende Platte verändert nun den elektrischen Widerstand eines zweiten in einem neuen Stromkreis liegenden losen Kontaktes. Auch Edison hat in seinem „pressure

---

[1]) s. Rysselberghe, Moniteur belge vom 4.Sept. 1884, E. T. Z. 1884 p. 420, E. T. Z. 1885 p. 186—190, E. T. Z. 12 p. 107. Saal, E. T. Z. 1890 p. 327, Praschke, E. T. Z. 1890 p. 401, J. Holles, The Electrician (Lond.) 53 p. 999—1000 usw.

[2]) Pupin, s. darüber L. Rellstab, Phys. Zs. 4 p. 217—223.

[3]) H. Th. Simon, Phys. Zts. vol. 2 (1901) p. 253—258 und Phys. Zs. vol. 3 p. 278—286, Vortrag auf d. Naturforschervers. zu Hamburg, E. Ruhmer, Phys. Zs. vol. 2 p. 339—340 und E. T. Z. 25 p. 1021—1030, Duddel, The Electric. 46 p. 269—273 u. 310—313 und Phys. Zs. vol. 2 p. 425—427 u. 440—442.

[4]) s. Nussbaumer, Phys. Zs. 5 p. 796—798 und darüber E. T. Z. 25 p. 1096, H. Mosler, E. T. Z. 26 p. 490, Kalischer, E. T. Z. 26 p. 680—681 und Fessenden, Fortsch. d. Elektrot. 1904 p. 442, Majorana, Il Nuovo Cimento Sér. 5 vol. 8 p. 32—42; E. T. Z. 25 p. 943, O. Jentsch, Telegraphie und Telephonie ohne Draht 1904 p. 210—211; s. hierfür auch H. Th. Simons u. M. Reichs Untersuchungen über die Erzeugung hochfrequenter Wechselströme, Phys. Zs. 4 p. 364—372 u. p. 737—742.

[5]) D. R. P. Nr. 4000 vom 12. Januar.

[6]) Dingl. Polyt. Journ. Bd. 232 p. 231—235; siehe auch El. World vol. 28 p. 596.

relay“[1]) das Mikrophonprinzip benutzt, um die wechselnde Stärke des Linienstromes in den Lokalstromkreis zu übertragen, indem er die Eigenschaft des Graphits benutzte, durch geringen Druck seinen Leitungswiderstand beträchtlich zu ändern. Er verwandte aber dies Prinzip jedenfalls zunächst nicht zur telephonischen Übertragung im gewöhnlichen Sinne, sondern entwarf das Relais von vornherein zur Weitergabe akustischer Schwingungen verschiedener Stärke bei seinem „sprechenden Telegraph“. Von Interesse ist, daß hier nicht, wie jedenfalls bei der großen Mehrzahl der Telephonrelais, eine Membran die Schwingungen in den Lokalstromkreis übertrug, sondern daß dünne Graphitscheiben in Vertiefungen der Polenden der Elektromagnetkerne lagen und daß der Anker direkt die Graphitscheiben berührte. Ein eigentlich telephonisches Relais (repeater) wurde Edison erst am 27. März 1883[2]) geschützt. Zu einem heftigen Prioritätsstreit hinsichtlich der Erfindung eines Telephonrelais kam es zwischen Edison einer- und den Professoren E. Thomson und Houston aus Philadelphia[3]) andererseits. Letztere brachten an der schwingenden Platte des Bellschen Telephons ein Miniaturmikrophon an, um die ursprünglichen Schwingungen in einen andern Stromkreis zu übertragen. In den achtziger Jahren[4]) beschäftigte sich Edison eingehend mit diesem Problem. Kurze Zeit darauf konstruierte O. Pöhlmann-Nürnberg[5]) ein Mikrophonrelais, bei dem die Schwingungen der Platte dadurch, daß das Relais in einem luftleeren oder jedenfalls luftverdünnten Raum eingeschlossen ist, und somit der Luftwiderstand wegfällt bezw. vermindert ist, erleichtert und vergrößert werden sollen. Bis auf die neueste Zeit ist die Lösung dieses Problems eines telephonischen Relais mittels des Mikrophonprinzips unzählige Male versucht worden. Aus der Flut von Patentschriften seien nur folgende genannt: Gillmore, A New or Improved Telephonic Relay, engl. Patentschr. Nr. 5102 (1894), W. H. M. Weawer, Telephone Repeater, Am. Pat. Nr. 595 983 (97), R. M. Hunter, Electrical Transmission of Energy, Am. Pat. 596 041 (97), J. Stone, Telephone Repeater or Relay, Am. Pat. 609 374 (16. Aug. 98)[6]) und Pierre Germain, Improvements in Telephone Posts or Stations, engl. Pat. Nr. 7179 (98)[7]).

[1]) Journ. of the Teleg. vol. 9 p. 163 und Dingl. Polyt. Journ. Bd. 225 (1877) p. 515, Zetzsche, Die elektr. Telegraphie, Bd. III, (1887) p. 819, Journ. of Telegr. 1877 p. 163.

[2]) Amer. Pat. Nr. 274 577.

[3]) Nature vol. 18 p. 194, Journ. of the Frankl. Inst. vol. 106 p. 51, Telegr. Journ. London vol. 6 p. 343, Engin. vol. 46 p. 3, Dingl. Polyt. Journ. Bd. 229 p. 152; Chem. News 37 p. 255, Chem. News 38 p. 45, p. 138 u. p. 198, F. d. Phys. 34 p. 876.

[4]) Am. Pat. Nr. 274 577 vom 27. März 1883, Nr. 340 707 vom 27. April 1886.

[5]) D. R. P. Kl. 21 Nr. 47 873 vom 8. Mai 1888, siehe Dingl. Polyt. Journ. 274 p. 574 u. E. T. Z. 10 (1889) p. 520.

[6]) s. Electr. World vol. 32 p. 348.

[7]) s. Electr. World vol. 33 p. 36.

Wir wollen schließlich nicht verfehlen, auf ein neuerdings[1]) von Professor Trowbridge konstruiertes polarisiertes Telephonrelais hinzuweisen, welches sehr empfindlich sein soll infolge eines sehr starken elektromagnetischen Feldes, innerhalb dessen sich der mit dem Mikrophon verbundene Anker befindet. Dieser Anker wird an seinem Ende vom Linienstrom umflossen, ändert seine Polarität je nach den Schwankungen des Linienstromes und gerät in entsprechende Schwingungen, welche sich natürlich dem damit verbundenen, im Lokalstromkreis liegenden Mikrophon mitteilen. Die beiden das starke elektromagnetische Feld bildenden Hufeisenmagnete sind entweder Dauermagnete oder Elektromagnete, welche durch eine Stromquelle möglichst gleichmäßiger Spannung gespeist werden, damit die Stärke des magnetischen Feldes möglichst konstant ist. Bei Versuchen, welche[2]) mit diesem Apparat auf der Freileitung zwischen Boston und New York angestellt wurden, zeigte sich eine Verschlechterung der Sprache durch das in der Mitte eingeschaltete Relais. Dagegen zeigte sich bei Benutzung eines künstlichen Telephonkabels deutlich, daß bei Einschaltung des Relais die Dämpfung der höheren Töne herabgemindert wurde.

Ascher empfahl in der Electr. Review vol. 44 (1899) p. 455 für die Übertragung der Sprache in einen anderen Stromkreis das vor einem auf der ersten oder gar zweiten und dritten Empfangsstation befindlichen Mikrophon aufgestellte, vor mehr als 20 Jahren von Edison nach dem Prinzip seines Elektromotographen[3]) konstruierte „laut sprechende Telephon“[4]), da nach seinen Erfahrungen die Schwingungen stark genug sein sollten, um sogar eine mehrfache Übertragung zuzulassen. Ja, er gab sich[5]) den weitgehendsten Hoffnungen in bezug auf die Übertragungsmöglichkeit hin. Im Anschluß daran wies W. J. Hammer[6]) auf seine schon an anderer Stelle von uns erwähnten, bereits 1889 nach derselben Richtung angestellten Versuche hin, bei denen gleichzeitig Edisons Kohlentransmitter, sein laut sprechendes Telephon und der Phonograph benutzt wurden. Wir weisen aber darauf hin, daß die mittels des Elektromotographenprinzips hervorgebrachten Töne allerdings sehr laut, dafür aber auch um so undeutlicher[7]) sein sollen.

---

[1]) E. T. Z. 1904 p. 674, Western Electrician vom 23. April 1904, El. Review, New York vol. 45 p. 361 u. 395.

[2]) F. d. Elektrot. vol. 8 p. 711.

[3]) F. d. Phys. 30 p. 1020, Dingl. Polyt. Journ. 214 p. 255, Telegraphic. Journ. 1874 p. 231.

[4]) F. d. Phys. 35 p. 1411, Naturf. 12 p. 303, Eng. No. 690 p. 701 u. 702, Nature 19 p. 471—472, Mondes (2) 50 p. 266—267.

[5]) El. World vol. 33 p. 485.

[6]) El. World 33 p. 752—754.

[7]) Maier u. Preece, Das Telephon 1889 p. 73—74.

Vor all zu kühnen Hoffnungen in bezug auf die Verwendbarkeit eines telephonischen Relais kann man bewahrt werden durch einen nicht nur beherzigenswerten, sondern auch äußerst interessanten Artikel in der „Electrical World“ von 1896[1]), der den in mehrfacher Beziehung um die Telephonie verdienten Th. D. Lockwood zum Verfasser hat. Lockwood beleuchtet hier die großen Schwierigkeiten, welche mit der Frage eines telephonischen Relais verknüpft sind, indem er vor allem darauf hinweist, daß immer im ersten, direkt durch den Sprecher beeinflußten Diaphragma die Vibrationen viel größer sind, als sie erzeugt werden können im empfangenden Diaphragma, durch dessen Verbindung mit dem Mikrophonkontakt die Sprache wieder aufgefrischt bezw. weitergeleitet werden soll, und daß ein telephonisches Relais wie jede andere Maschine Zeit gebraucht zur Verrichtung ihrer Funktionen, so daß unliebsame Verzögerungserscheinungen eintreten können, wie auch jeder Telegraphenbeamte wissen muß, daß die pünktliche Übertragung von Zeichen um so schwieriger ist, je länger die Linie ist, und je mehr Relais in Verwendung kommen. Wollte man nun sagen, daß das Heranziehen von Beispielen aus der telegraphischen Praxis irreleitend ist, weil die Größe der Schwingungen des Diaphragmas gar nicht vergleichbar ist mit der Größe der Ortsveränderungen des Ankers bei einem gewöhnlichen telegraphischen Relais, so ist dem entgegenzuhalten, daß auch die enorme Zahl der Vibrationen, wie sie pro Zeiteinheit bei der telephonischen Übermittelung stattfindet, nicht im entferntesten verglichen werden kann mit der entsprechenden, geringen Zahl der bei einem Telegraphenrelais in Betracht kommenden Lagenänderungen. Auf einige andere von Lockwood besprochene Schwierigkeiten, beispielsweise die Schwierigkeit, ein Telephonrelais derart zu gestalten, daß es in beiden Richtungen arbeitet, kann hier nicht näher eingegangen werden.

Es ist nun selbstverständlich, daß der nämliche Mechanismus einmal dazu würde dienen können, um in Anschluß an den gewöhnlich mit dem Wort Relais verknüpften Sinn die Sprache an der Empfangsstation aufzufrischen, sodann aber auch dazu, um dieselbe von dieser zweiten Station bis zu einer dritten weiterzuleiten. Wir würden dann von einem „Wiederholer“ (repeater) sprechen müssen. Es würden in diesem letzteren Fall, der offenbar von viel größerer Bedeutung ist als der erstere, wie Lockwood zeigt, wesentlich zwei Momente in Betracht kommen. Vorteilhaft wäre die Teilung der Linie in zwei Teile in so fern, als die störenden statischen Ladungserscheinungen verringert würden, nachteilig würde dieselbe durch die Einführung einer Komplikation sein, durch die Notwendigkeit, eine größere Zahl von Instrumenten in Ordnung zu halten.

[1]) Vol. 28 p. 592—597, 626—627 und 660—661.

Bei der Beurteilung der Anwendbarkeit bezw. Nichtanwendbarkeit eines solchen „repeaters“ müßten natürlich in jedem einzelnen Falle beide Momente gehörig gegeneinander abgewogen werden. Darin nämlich mag Lockwood wohl Recht haben, daß die durch die Relaiswirkung in der Mitte einer langen Leitung in mechanische Energie umgesetzte elektrische Energie eher dazu wird beitragen können, die gute Artikulation an der eigentlichen Empfangsstelle zu stören, als sie zu verbessern, so daß wesentlich der eine etwa in Betracht kommende vorteilhafte Punkt übrig bliebe. Wo es nun auf die Feinheiten der Artikulation nicht so sehr ankommt, wie es z. B. bei der Übertragung von Musikaufführungen der Fall ist, da hielt Lockwood es für durchaus möglich, daß der „Wiederholer“ in der gegenwärtigen Gestalt von Bedeutung werden könne, ebenso auch, wenn es ankomme auf den Verkehr zwischen einer Haupt- und einer Zweigleitung, etwa zwecks rascher Beförderung von kurzen Nachrichten der Presse usw. Neuerdings hat man bekanntlich versucht, von anderer Seite aus[1]) der Lösung des Problems eines brauchbaren Telephonrelais näherzukommen, und zwar hat sich besonders der dänische Ingenieur Hagemann nach dieser Richtung[2]) verdient gemacht. Hierbei sei auch erwähnt, daß Hewitt[3]) die Wahrnehmung gemacht hat, daß sich die Quecksilberdampflampe als Telephonrelais benutzen läßt, indem der konstante die Röhre durchfließende Strom variabel wird, wenn die Röhre in das Feld eines von einem undulierenden Strom erregten Elektromagnets gebracht wird.

Mit dem vorher erwähnten Edisonschen „pressure relay“ läßt sich übrigens auch ein gewöhnlicher Klopfer zum Ansprechen bringen. Auch sonst hat das Mikrophonprinzip vielfach Anwendung in der Telegraphie gefunden. M. B. Enzmann[4]) benutzte zum Telegraphieren schnell aufeinander folgende Ströme wechselnder Richtung, um die Membrane eines von ihm konstruierten Telephonrelais in Schwingungen zu versetzen und dadurch den Mikrophonkontakt beim Telephonrelais weniger innig zu machen als im Ruhezustande.[5]) Durch die entsprechende Widerstandsvermehrung in diesem Kreis erhält der im Nebenschluß liegende Empfangsapparat einen stärkeren Ortsstrom und spricht an. Hier

---

[1]) s. v. Poulsen, Das Telegraphon, Drud. Ann. 3 p. 754—760, s. Rellstab, Der Telephonograph, E. T. Z. 22 p. 57—59.

[2]) Drud. Ann. 3 p. 759.

[3]) El. World 43 (1904) p. 325—326.

[4]) Lum. él. vol. 33 p. 326—329, E. T. Z. 10 (1889) p. 455—456, E. T. Z. 11 p. 103—104, Dingl. Polyt. Journ. Bd. 275 p. 26 und Fortschr. d. Elektrot. vol. 3 p. 489.

[5]) s. dazu Hughes, Phil. Mag. (5) vol. 6 pag. 44—50 und A. Oberbeck, Wied. Ann. 13 (1881) p. 224.

könnte wohl auch das von Cuttriss angegebene Relais[1]) genannt werden, welches die telegraphische Übertragung undulierender Ströme durch lange, überseeische Kabel gestattet. Eine vom undulierenden Linienstrom durchflossene Drahtrolle schwingt in einem starken, magnetischen Feld. Die Seele des Apparats wird gebildet aus zwei in zwei einander ergänzenden Lokalstromkreisen liegenden Spiralen aus äußerst feinen Kohlefäden[2]), welche die Zurückführung in die Ruhelage bewirken und beim Dehnen bezw. Zusammenziehen ganz enorme Widerstandsänderungen erfahren, so daß dadurch das Ansprechen des Empfangsapparats bewirkt wird.

H. Lubliner, Berlin, erhielt am 23. Mai 1889 ein Patent (D. R. P. Nr. 50319) auf ein Relais, bei welchem der Lokalstrom durch die Bewegung einer Magnetnadel unterbrochen oder aber regulierbar geschwächt wurde.[3]) Im letzteren Fall erlitt der Widerstand durch Lockerung des Mikrophonkontaktes eine genügende Veränderung, so daß der im Lokalstromkreis liegende Empfangsapparat betätigt wurde. Ein Richtmagnet und ein federnder Anschlag bewirkten eine rasche Rückkehr der Nadel in die Anfangslage. Am 7. Dezember 1889 erhielt Lubliner ein Zusatzpatent, in welchem[4]) statt der Magnetnadel im Hauptpatent eine in den Linienstromkreis eingeschaltete und in einem magnetischen Felde bewegliche Spule zur Trennung bezw. Lockerung des Kontaktes der im Ortsstromkreis liegenden Elektroden (mittels Schraube verstellbare Kohle bezw. Platin und eine daran liegende elastische Elektrode) benutzt wurde.

Bei einem kurz darauf in den Vereinigten Staaten an Th. A. Edison[5]) erteilten Patent auf ein Kohlenrelais wurde die Stärke des Lokalstroms regulierbar verändert durch den mit Kohle versehenen Anker eines gewöhnlichen Elektromagneten, dessen Schenkel derart ausgehöhlt waren, daß die Kohle des Ankers diejenige Kohle berührte, welche in die Höhlungen der Schenkel eingelegt war. Nähere Zahlenangaben haben wir leider nicht auftreiben können, so viel aber haben wir erfahren, daß das Relais sehr empfindlich und auch recht zuverlässig gewesen sein soll. Von kompetenter Seite sind wir darauf aufmerksam gemacht worden, daß in den 80er Jahren von der bayrischen Telegraphenverwaltung Versuche angestellt wurden mit einem gewöhnlichen mit Kohlekontakten

[1]) El. Rev. vol. 31 p. 8—9, Lum. él. vol. 43 p. 532, Lum. él. vol. 45 p. 78—79, Fortschr. d. Elektrot. vol. 6 (1892) p. 127, 326 u. 758.

[2]) s. E. T. Z. 1892 p. 52 und F. d. Phys. 48 I p. 442—443.

[3]) Zs. f. Instr. 1890 p. 370, E. T. Z. 1890 p. 231, Fortschr. d. Elektrot. 1890 p. 131.

[4]) Zs. f. Instr. 1891 p. 237, E. T. Z. 1891 p. 34—35, F. d. Elektrot. 1890 p. 769.

[5]) F. d. Elektrot. 1890 p. 542, Off. Gaz. vol. 52 p. 1118, E. T. Z. 1890 p. 524, Pat. Nr. 434585.

versehenen Relais, „daß die dabei gefundene Empfindlichkeit eine enorme war, daß aber die Verwendung an der Unmöglichkeit einer konstanten Einstellung auf eine bestimmte Ruhelage scheiterte“. Merkwürdigerweise ist es uns bis auf den heutigen Tag nicht möglich gewesen, Genaueres zu erfahren. Daß die Empfindlichkeit von Relais mit mikrophonischen Kohlekontakten diejenige eines gewöhnlichen Relais weit übersteigt, davon konnten wir[1]) uns überzeugen, als wir, ohne etwas von der Verwendung des Mikrophonprinzips in der Telegraphie zu ahnen, nach derselben Richtung Versuche anstellten, indem wir verschiedene früher vielfach in der telegraphischen Praxis benutzte Relais mit Kontakten aus Bogenlampenkohle versahen. Wir haben Einstellungen der zur Regulierung des Druckes benutzten Schraube gehabt, bei denen wir mit Sicherheit einen Linienstrom von $^1/_{500}$ Milliampère Stärke nachweisen konnten. Allerdings gingen so günstige Stellungen meist sehr bald von selber verloren. Bei Verwendung von Linienströmen von $^1/_{25}$ bis $^1/_{50}$ Milliampère jedoch erhielten wir bei gleichzeitiger Benutzung einer einfachen Aufhängevorrichtung für das Relais recht ermutigende Resultate. Wir konnten ziffernmäßig den großen Wert nachweisen, welchen schon eine ganz einfache Aufhängung für die Vermeidung bezw. Einschränkung der durch Erschütterungen usw. bedingten Widerstandsschwankungen an der Kontaktstelle hat, und versuchten, jedenfalls erste Anhaltspunkte zu gewinnen bezüglich der Momente, welche im Hinblick auf die Sicherheit des Funktionierens eines solchen, mit Mikrophonkontakten versehenen telegraphischen Relais in erster Linie in Betracht zu kommen scheinen, damit die Praktiker, falls die Verwendung eines derartigen Instruments noch heute von genügendem Wert erscheint, eventuell daran anknüpfen können. Aus den Fortschritten der Elektrotechnik von 1892 (p. 759) erfahren wir kurz von einer mit „Kohlekontakten bezw. mit Kontakten aus Halbleitern“ versehenen Taste, durch welche Stephen und Davis erreichen wollten, daß die Ströme für die Morsezeichen nur eine Stärkung bezw. Schwächung erfahren, statt direkt unterbrochen bezw. wiederhergestellt zu werden. Es sollte dadurch ermöglicht werden, daß die nämliche Leitung gleichzeitig zum Telegraphieren und Telephonieren benutzt werden konnte. Da uns telegraphische Zeitschriften nicht genügend zur Hand stehen, haben wir leider auch hierüber nicht Genaueres erfahren können. Mercadier konstruierte für die Multiplextelegraphie ein sogenanntes telemikrophonisches Differentialrelais, welches[2]) jedenfalls mit ausgezeichnetem Erfolge auf 600—800 Kilometer langen Strecken in Frankreich ausprobiert worden ist.

[1]) Chr. Jensen u. H. Sieveking, Drud. Ann. 18 p. 695. 1905.

[2]) C. Rend. vol. 130 (1900) p. 770—773.

Das Mikrophonprinzip ist von Robertson in seinem Kopiertelegraphen angewandt[1]) worden, indem jede Bewegung des Schreibgriffels an der Gebestation durch geeignete Übertragung eine Änderung in dem Druck hervorbringt, welcher auf zwei senkrecht zueinander angebrachte und in zwei getrennten Stromkreisen liegende Reihen von Kohlenscheiben ausgeübt wird, und indem weiter eine der Änderung im Verhältnis der Stromstärken beider Leitungen entsprechende Änderung im Verhältnis der Anziehungskräfte der Empfangselektromagnete auftritt. Es stellen dann die beiden fest miteinander verbundenen Anker einen mit ihnen verbundenen federnden Schaft so ein, daß er dem Geberstift korrespondierende Bewegungen ausführt. Es wurden übrigens diese dem Verhältnis der Elementarbewegungen des Schreibgriffels — in welche sich nach dem Parallelogramm der Kräfte die mehr oder weniger verschlungenen Bewegungen zerlegen lassen — entsprechenden Schwankungen in den beiden Stromkreisen bereits 1879 von Cowper in seinem Kopiertelegraphen[2]) angewandt. Während aber bei Robertson der verschieden starke mikrophonische Druck die Stromstärke in der einen oder andern Richtung ändert, schaltete Cowper je nach der Lage des Schreibgriffels eine verschiedene Summe von bestimmten Widerständen in der einen oder der andern Leitung aus bezw. ein. Die Wirkung veränderlicher Widerstände im Stromkreis benutzte auch E. Gray in seinem ersten Telautographen, verließ aber später[3]), da die Leitungen sowieso oft starken Widerstandsschwankungen durch Witterungseinflüsse ausgesetzt waren, dies Prinzip.[4]) R. A. Fessenden benutzt das Mikrophon für die Telegraphie ohne fortlaufende Leitung,[5]) indem er die durch eine bewegliche Spule an zwei Mikrophonkontakten hervorgebrachten Druckänderungen durch ein Differentialgalvanoskop nachweist.

C. Das Mikrophon als Empfänger.

Nunmehr, nachdem wir im Vorhergehenden mit einer Abschweifung auf die Telegraphie wesentlich die Anwendung des Mikrophons als Geber beziehungsweise als Weitergeber oder Auffrischer der Sprache oder der Musik betrachtet haben, sei noch einer Möglichkeit der Verwendung von Mikrophonkontakten gedacht, die allerdings bisher keine praktische Bedeutung

[1]) E. T. Z. 1887 p. 346 und 401—403, Lum. él. vol. 24 p. 337—338.

[2]) Dingl. Polyt. Journ. 232 p. 413—415, F. d. Phys. 35 p. 1408, Journ. of the Soc. of Tel. Eng. vol. 8 p. 141—147, Rep. Brit. Soc. 1879 p. 520—521.

[3]) El. World 21 p. 220—222, F. d. Phys. 49 II p. 817, Zs. f. phys. u. chem. Unterr. vol. 7 p. 143—145, Zts. d. Ver. deutsch. Ingen. 37 p. 1608, E. T. Z. 14 p. 637.

[4]) Über neuere Versuche, Schriftstücke bezw. Photographien telegraphisch zu übertragen, siehe Korn, Phys. Zs. 5 p. 113—118 u. 164—168, E. T. Z. 23 p. 454—455 u. vol. 25 p. 453—454, Ruhmer, E. T. Z. 25 p. 1021—1030, s. auch Liesegangs Schriften, Ed. Liesegangs Verlag, Düsseldorf.

[5]) F. d. Elektrot. 1904 p. 431—432.

erlangt hat, aber von um so größerem theoretischem Interesse ist. Wir denken hier an die in innigster Beziehung zur Geschichte der Entdeckung des Mikrophons als Gebeapparat stehende Verwendung von losen Kontakten zur Wiedergabe der Sprache. Allem Anschein nach gebührt hier Berliner[1]) der Vorrang, welcher auch schon im September 1877 eine Anordnung veröffentlichte, mittels derer eine Verstärkung dieser an losen Kontakten entstehenden Töne erreicht werden sollte. Berliner ging hier von der Idee aus, daß die Elektroden von losen Kontakten relativ leicht durch undulatorische Ströme würden beeinflußt werden, wenn sich dieselben bereits vorher durch eine konstante elektromotorische Kraft im Zustande der Polarisation befinden, genau so wie sich eine polarisierte Armatur empfindlicher gegen elektromagnetische Einflüsse erweise als eine aus weichem Eisen bestehende. Die Idee nun wurde in folgender Weise verwirklicht. An der Gebestation befand sich ein Mikrophon, welches mit einer Batterie und der primären Wickelung einer Induktionsspule in einem Stromkreis lag. Die sekundäre Wickelung eben dieser Spule stand in Verbindung mit der sekundären Wickelung einer an der Empfangsstation befindlichen Spule, deren primäre Wickelung in einem Stromkreis lag mit einer zweiten Batterie und dem Mikrophonkontakt, welcher unter dem Einfluß der durch das Hineinsprechen in das erste Mikrophon bedingten undulierenden Ströme entsprechende Laute von sich geben sollte. Hierbei konstatierte Berliner, daß die Intensität der auf diese Weise reproduzierten Töne in inniger Beziehung zur Stärke der zweiten Batterie stand. Hughes konstruierte[2]) einen mikrophonischen Empfänger, in welchem sich zwei durch eine Feder gegeneinander gedrückte Stückchen metallisierter Fichtenkohle, welche sich im Stromkreis des Gebemikrophons befinden, auf der Mitte einer über einen zinnernen Zylinder gespannten Pergamentmembran befinden, so daß die Membran beim Hineinsprechen ins Mikrophon in hörbare Schwingungen versetzt wird. Der Druck, den die beiden Kohlestückchen aufeinander ausüben, ließ sich durch eine feine Spiralfeder regulieren. Als Stromquelle wurden vier bis fünf Leclanché-Elemente angegeben. Man erfährt ferner, daß das Ganze in ein Kästchen eingeschlossen war, aus dem nur das Hörrohr heraustrat. James Blyth[3]) konnte als Empfänger ein von einer aus zwei Groveschen Elementen bestehenden Batterie gespeistes, mit ausgebrannten Steinkohlen gefülltes Glas benutzen, oder aber er verwandte dazu eine

---

[1]) siehe F. d. Phys. 33 (1877) 1077, Cirkular, Washington Sept. 1877, Lum. él. 2 p. 314 u. 336, Lum. él. 3 p. 159—160, „Du Moncel, Le Télèphone“ 1882 p. 213—216 u. 297—298.

[2]) s. Dingl. Polyt. Journ. 229 (1878) p. 150, C. Rend. 87 p. 7—10, Dingl. Polyt. Journ. 231 p. 285, Engin. vol. 26 p. 12 (5. Juli 1878).

[3]) Telegraph. Journ. 6 (1878) p. 246, Dingl. Polyt. Journ. 229 p. 150, Wied. Beibl. 2 p. 521, Nature 18 p. 172—173, Royal Soc. of Edinb. 3. Juni 1878.

Holzschachtel, in deren gegenüberliegende Stellen zwei Blechstreifen gesteckt sind. Er benutzte diese Apparate in Kombination mit ähnlichen Gebeapparaten und war nicht wenig überrascht, als mittels dieser Vorrichtungen nicht nur artikulierte Laute übertragen werden, sondern auch die Stimmen unterschieden werden konnten. Diese Eigenschaft des Mikrophons wurde bald darauf von V. A. Julius[1]) bestätigt.

Auch Wietlisbach[2]) gibt an, daß die Membran eines Mikrophons die Schwingungen, welche durch das Gebemikrophon in dasselbe hineingeleitet werden, wiedergibt; er fügt jedoch hinzu, daß die Kontaktstelle durch einen primären Strom durchflossen werden muß. Die Reproduktion soll erheblich schwächer sein als die mittels eines gewöhnlichen Magnettelephons hervorgebrachte, jedoch durchaus deutlich. Sowohl Munro, welcher die Ansicht vertrat, daß es fortwährende, durch die Schwingungen der Schallwellen geregelte stille Entladungen sind, welche das Mikrophon zur Übertragung der Sprache befähigen, als auch Hughes, welcher mehr dazu neigte, einen wirklichen Lichtbogen zwischen den Mikrophonkontakten anzunehmen[3]), ferner auch Preece, welcher die wesentlichste Rolle der durch den Stromdurchgang bedingten Wärme zuschrieb, suchten mit einem gewissen Recht ihre Ansichten durch den reziproken Charakter des Mikrophons zu stützen. Ob eine von diesen Deutungen die richtige ist, oder ob, wie Ayrton und Perry meinen, abstoßende Kräfte, die sich mit der Stärke des Stromes ändern, eine wesentliche Rolle spielen oder Fahies Meinung entsprechend statische Induktion wesentlich maßgebend ist, das kann hier nicht entschieden werden[4]); es erscheint uns aber jedenfalls schon die Verwendungsmöglichkeit des Mikrophons als Empfänger eher dafür zu sprechen, daß das die Kontakte trennende Luftkissen die wesentliche Rolle bei der Sprachübertragung spielt und, daß die Theorien, welche der verschiedenen Größe der Kontaktfläche[5]) bei verschiedenem Druck die wichtigste Rolle beimessen, nicht ausreichen. Hughes suchte die geringe Bedeutung einer wechselnden Oberflächenausdehnung durch den Hinweis darauf zu zeigen, daß eine Nadelspitze als Mikrophonkontakt gut funktioniert. Dies darf uns aber nicht weiter beschäftigen, da es zu weit führen würde. Dagegen sei kurz darauf aufmerksam gemacht, daß Erscheinungen an

[1]) Nature 18 p. 642.

[2]) Handbuch der Telephonie 1899 p. 39—40.

[3]) Nach E. T. Z. 5 p. 126 hat Ader mittels eines Bogens von 6 mm Länge gesprochen; siehe die heutige drahtlose Telephonie.

[4]) siehe über die Theorien u. a. Borns, E. T. Z. 5 p. 122—126, du Moncels Übersichten in Lum. él. VIII (1883) p. 290—294, 321—325, 529—533 u. vol. IX p. 129—133, p. 225—230.

[5]) s. Fessenden, F. d. Phys. 53 II (1897) p. 590, American Electrician 1897, E. T. Z. 18 p. 281.

losen Kontakten, welche den eben näher besprochenen analog sind, lange vor der Erfindung des Mikrophons als Kommunikationsmittel bekannt geworden sind. Es sei nur erinnert an Poggendorfs Beobachtungen[1]) an einem aufgeschlitzten, hohlen Zylinder aus Metallblech, welcher eine Drahtrolle umgab, in welcher ein durch einen Wagnerschen Hammer unterbrochener Strom zirkulierte. Abgesehen von der von ihm beobachteten Tonbildung, welche offenbar ihren Sitz an den Berührungsstellen des Zylinderrandes hatte, welche aber auch fehlen konnte, wenn das Material des Hohlzylinders aus wenig elastischem Material, etwa aus Blei, bestand, wurde, falls nur die Ränder lose genug aneinander lagen, stets ein von den Berührungsstellen des Zylinderrandes ausgehendes, dem Schlagen einer Taschenuhr einigermaßen vergleichbares Ticken beobachtet, welches synchron mit den Schlägen des Wagnerschen Hammers erfolgte. Eine ähnliche Beobachtung machte neuerdings[2]) unabhängig davon Hornemann, der sich überhaupt eingehend[3]) mit den an losen Kontakten auftretenden akustischen Erscheinungen beschäftigte und zu äußerst interessanten Ergebnissen kam. Mit Kohlekontakten erhielt er nicht so gute Resultate wie mit Kontakten, welche aus geglühtem oder auch nur schwach erhitztem, farbig angelaufenem Eisen bestanden. Nach seinen Angaben reproduzierte ein aus geglühtem Eisen hergestellter Kontakt nicht nur das Schnurren des faradischen Stromes sehr laut und sehr rein, sondern auch mittels eines Mikrophons aufgenommene Schallwellen wurden durch denselben sehr laut und vollkommen reproduziert. Das Ticken einer Weckeruhr wurde auf mehrere Meter weit gehört, und das Ticken einer Taschenuhr hörte man in nächster Nähe noch so laut wie mittels eines gewöhnlichen Magnettelephons. Für das wesentliche hält Hornemann eine Zwischenschicht zwischen den Metallen, welche zwar die direkte gegenseitige Berührung der Metalle verhindert, aber andererseits in einem gewissen, wenn auch geringen Grade an der Stromleitung Teil hat. Aus dem Grunde glüht er das Eisen, damit sich eine Oxydschicht bildet. Ein derartiger Kontakt soll nicht nur eine große Empfindlichkeit gegen Stromwellen haben, sondern auch gegen aus der Ferne auf ihn einwirkende elektrische Schwingungen, so daß beispielsweise nach Hornemann ein deutliches Tönen eintrat, wenn die Entfernung zwischen dem Sendedraht und dem mit dem Kontakt verbundenen Auffangedraht über zwölf

---

[1]) Poggend. Ann. 98 (1856) p. 193—203, F. d. Phys. 12 p. 524—525; s. darüber Buff, Poggend. Ann. 124 (1865), p. 78—86; Berl. Ber. 1864 p. 507.

[2]) s. Drud. Ann. 7 p. 867—868.

[3]) l. cit. p. 862—881, F. d. Phys. 58I p. 486—487, s. E. T. Z. 22 p. 476; s. auch M. Hornemannn, Der heiße Oxydkohärer. Drud. Ann. 14 p. 129—138, s. F. d. Phys. 60II p. 105—108.

Meter betrug, und sich Wände zwischen der Gebe- und Empfangsstation befanden. Wir können leider auf diese fesselnden Untersuchungen nicht näher eingehen, wobei gleichzeitig nochmals bemerkt sei, daß wir die Kohärerphänomene beziehungsweise die diesbezüglichen Anwendungen in der Telegraphie ohne fortlaufende Leitung als nicht in den Rahmen dieser Übersicht fallend betrachten, zumal die dahingehörende Literatur relativ leicht jedermann zugänglich ist.

11. Das Mikrophon als Trevelyaninstrument und einige sich daran knüpfende historische Bemerkungen.

Dagegen müssen wir noch kurz auf einige andere akustische Erscheinungen hinweisen, die bei losen Kontakten auftreten können, ohne daß Wechselströme oder undulierende Ströme dieselben durchfließen. Bekannt genug ist das im Jahre 1830 von A. Trevelyan auf Grund einer im vorhergehenden Jahre gemachten Beobachtung — eine ähnliche Beobachtung wurde nach Seebeck und Tyndall bereits 1805 von einem Herrn Schwarz gemacht und von Prof. Gilbert in seinen Annalen Bd. 22 p. 323 beschrieben — erfundene Trevelyaninstrument[1]), bei welchem durch rasch aufeinander folgende Erschütterungen infolge von Wärmeausdehnung Töne erzeugt werden. Im Jahre 1850 leitete Page[2]) einen elektrischen Strom durch die Berührungsstelle der beiden Metalle eines Trevelyaninstruments und erzielte auf die Weise Töne von beliebig langer Dauer. Ungefähr acht Jahre später beobachtete A. Paalzow[3]), daß, wenn man auf eine mit dem einen Pol einer Säule von vier Bunsenschen Elementen verbundene Kupferplatte ein dünnes Platinblech legt, und darauf ein Stück Kohle, welches wie ein Halbring geformt ist, und in dessen einem freien Ende eine für die Aufnahme eines Quecksilbertropfens bestimmte Vertiefung angebracht ist, die Kohle bei Stromschluß in eine ziemlich regelmäßige, wiegende Bewegung gerät. Dieses Experiment gelingt tatsächlich sehr leicht. Im Anschluß an diese Beobachtung stellte W. Rollmann[4]) weitere entsprechende Versuche an und erhielt bei Stromdurchgang und bei Verwendung von Wiegern aus Messing, Stahl und Gaskohle dauernde Schwingungen, wenn er Gold, Platin, Silber, Kupfer, Kohle usw. als Träger benutzte. Dabei machte er auch darauf aufmerksam, daß er bereits 1850 in den Jahresberichten

[1]) s. Trevelyan, Edinb. Roy. Soc. Trans.; s. darüber u. a. G. W. Muncke, Pogg. Ann. 24 (1832) p. 466—467, A. Seebeck, Pogg. Ann. 51 (1840) p. 1—10, Faraday, Journ. of the Roy. Inst. 4 u. Schweigg, neues Jahrb. 4, J. Tyndall, Pogg. Ann. 94 (1855) p. 613—628, Weinhold, Demonstrationen 2. Aufl. p. 216—217.

[2]) Sill. Amer. Journ. (2) vol. 9 p. 105 bezw. 106, F. d. Phys. 6 u. 7 (1850 u. 51) p. 294 u. 311, Arch. d. sc. phys. et nat. 15 p. 313.

[3]) Pogg. Ann. 104 (1858) p. 413—421, F. d. Phys. 14 p. 479—481.

[4]) Pogg. Ann. 105 (1858) p. 620—621, F. d. Phys. 14 p. 479—480.

des naturw. Vereins zu Halle (p. 189) ein durch den elektrischen Strom bewegtes Trevelyaninstrument beschrieben habe. Diese Frage ist u. a. weiter verfolgt worden von Forbes[1]), von Gore[2]), Buff[3]), V. A. Julius[4]), der intermittierende Ströme durch ein gewöhnliches Trevelyaninstrument schickte und dabei, namentlich bei Verwendung von eisernen Wiegern, laute Töne erhielt, und A. M. Tanner[5]), der in objektivster Weise die historische Seite beleuchtet hat und dabei, wie wir gleich sehen werden, auch Moussons Verdienste um das Mikrophon klarzustellen suchte. Man erfährt hier zunächst, daß Mousson in den Nouveaux Mémoires de la Société Helvétique des Sciences Naturelles von 1855 (vol. 14), also ein Jahr vor der du Moncelschen Entdeckung, den veränderlichen Widerstand besprach, welcher bei der Berührung von Metallfedern und Metallscheiben entsteht, daß er an Hand einer Figur ein Experiment mit zwei gekreuzten Drähten beschrieb und sich dahin äußerte, daß bei einem „losen Kontakt ohne Druck“ der Widerstand wegen der Temperaturänderungen in den Berührungspunkten veränderlich sei. Die Lagenänderungen der losen Kontakte setzte er auf Konto der Stromwirkung. Wir erfahren weiter, daß sich in den Compt. Rend. der 45. Sitzung der Société Suisse des Sciences Naturelles in Lausanne (1861) eine Mitteilung Moussons über die Bewegungen findet, welche in einem Stromkreis an den Punkten stattfindet, wo sich die Leiter leicht berühren. Außer der Beschreibung der 1845 von de la Rive angestellten Beobachtungen[6]), den Untersuchungen von Page, Rollmann, Forbes und Gore findet sich hier die Beschreibung eines von ihm konstruierten, dem gewöhnlichen Trevelyaninstrument[7]) ähnlichen Instruments, welches, wenn der Wieger bei Stromdurchgang einmal in Bewegung versetzt ist, einen Ton produziert, solange der Stromdurchgang dauert. Hier bespricht er auch eine auf die Schwingungsperiode eines vertikal ausgespannten Drahtes abgestimmte

[1]) Phil. Mag. (4) vol. 17 p. 358—360, Proc. of Edinb. Soc. 1858—59 p. 151—154, Pogg. Ann. 107 (1859) p. 458—461, Arch. d. sc. phys. (2) vol. 5 p. 258, Edinb. Journ. (2) vol. 9 p. 266—268, F. d. Phys. 15 p. 441—442.

[2]) F. d. Phys. 14 p. 481, Phil. Mag. (4) 15 p. 519—522, Ann. de Chim. 55 (3) p. 248—249, Pogg. Ann. 107 p. 455—457, F. d. Phys. 15 p. 441, Phil. Mag. 18 (4) p. 94—101, Arch. d. sc. phys. (2) vol. 7 p. 60—61.

[3]) Pogg. Ann. 124 p. 78—86, Berl. Ber. 1864 p. 507.

[4]) Nature 18 (1878) p. 642.

[5]) Electr. Review vol. 27 (1890) p. 221—222, p. 279 u. p. 612—615, Bern. Mitteil. 1890.

[6]) siehe de la Rive, Sur les mouvements, que déterminent dans les corps, soit la transmission des courants électriques, soit leur influence extérieure, Compt. Rend. 20 p. 1287—1291.

[7]) s. Mousson, Physik auf Grundl. d. Erfahr. Bd. 1 (1879) p. 337—338.

Glocke, welche dadurch[1]) im Tönen erhalten wird, daß der vertikal neben der Glocke ausgespannte Draht mit zwei leicht gegen die Glocke anliegenden Platinschneiden versehen wird und ein galvanischer Strom den so gebildeten Kontakt und die Glocke durchfließt. Von großem Interesse sind sicherlich die Bemerkungen, die Mousson an dieser Stelle über die Bedeutung des Druckes bei losen Kontakten macht. Ist der Druck gleich 0, so findet kein Stromdurchgang statt; bei schwachem Druck findet eine mechanische Berührung statt, aber das Galvanometer wird noch nicht betätigt, weil die Berührung nicht galvanisch ist. Durch die an der Oberfläche adhärierende Luft wird die galvanische Berührung verhindert. Wird der Druck vermehrt, so findet beiderlei Berührung statt, doch bleibt der Druck stets variabel, weshalb das Galvanometer schwankt.

Damit war eigentlich schon die große Bedeutung des Druckes betont, die, wie wir gesehen haben, du Moncel 1856 erkannte, so daß Mousson — in gewisser Beziehung — die Priorität zukommt.

Wir wollen nicht unterlassen, zum Schluß darauf hinzuweisen, daß Tanner noch einen Schritt weitergegangen ist, indem er darauf hinwies, daß Munck of Rosenschöld[2]) die Priorität der Entdeckung gebührt, daß der elektrische Widerstand von Kohlepulver durch Druck variiert werden kann; demselben wird übrigens auch die Priorität hinsichtlich des Einflusses von elektrischen Entladungen auf die Leitfähigkeit von Pulvern aus leitenden Substanzen zugeschrieben.[3]) Munck of Rosenschöld[4]) zeigte, daß die Größe des Widerstandes für elektrische Flaschenentladungen von der verschiedenen Packung des Kohlepulvers abhing; die Ursache wird freilich nicht erörtert.

Im Jahre 1879 hat Hughes bereits den Einfluß der Funkenentladung auf Mikrophonwiderstände benutzt, um auf 400 m drahtlos zu telegraphieren.

Die falsche Deutung dieser Versuche, als auf Induktion beruhend, hielt Hughes damals von einer Publikation ab.[5])

12. Schluß.

Hiermit ist unsere Übersicht beendet.

Wir hatten beabsichtigt, eine möglichst umfassende Übersicht über Verwendung und Verwendbarkeit loser Kontakte zu geben.

[1]) s. Abbildung in Mousson, Physik auf Grundl. d. Erfahr. 1874 Bd. 3 p. 412, Fig. 942.

[2]) El. Review 27 p. 279.

[3]) s. Righi u. Dessau, Telegraphie ohne Draht 1903 p. 203.

[4]) Pogg. Ann. 34 p. 437 1835.

[5]) s. Righi u. Dessau, ebendas. p. 204.

Wir wissen recht wohl, daß eine erschöpfende Aufzählung damit nicht geliefert ist, doch hoffen wir durch die reiche Quellenangabe die geeignete Basis für weitere eventuelle Nachforschung geliefert zu haben. Wir konnten nicht alle Literaturangaben prüfen, sondern mußten uns vielfach auf Referate verlassen. Hoffentlich ist es uns gelungen, zu der Erkenntnis beizutragen, daß das Mikrophonprinzip bereits treffliche Dienste in umfangreichen Verwendungen mannigfacher Art geliefert hat; daß es bei den raschen Fortschritten der Feinmechanik noch manche Dienste leisten wird zur Erweiterung des Meßbereichs unserer Instrumente, scheint uns eine begründete Hoffnung. Solange mit der großen Empfindlichkeit des Mikrophonkontaktes eine starke Abhängigkeit von störenden Nebeneinflüssen verbunden ist, wird freilich das quantitative Verfolgen geringer Wirkungen hinter der qualitativen Demonstration zurücktreten müssen. Hier ist es, wo die verbesserte Feinmechanik einzusetzen hat.

Januar 1906.

Hamburg, **Physikalisches Staatslaboratorium**
und
Karlsruhe, **Physikalisches Institut der Technischen Hochschule.**

Eingegangen am 20. März 1906.

Registrierballonaufstiege in Hamburg

vom April 1905 bis März 1906.

Von Dr. ***Paul Perlewitz,***
wissenschaftlicher Hilfsarbeiter bei der Deutschen Seewarte.

Mit 5 Tafeln und 1 Abbildung im Text.

I. Einleitung.

Die internationalen Tage und die Beteiligung Hamburgs.

Auf dem Meteorologenkongreß in Paris, im September 1896, traten einige Mitglieder der Versammlung zu einer Neugründung „der Internationalen Kommission für wissenschaftliche Luftschiffahrt" zusammen, deren Aufgabe die Erforschung und das Studium der höheren Luftschichten sein sollte.[1]) Ihre erste besondere Zusammenkunft hatte diese Kommission im Jahre 1898 in Straßburg, wo es galt, sich weiter zu organisieren und die zu erledigenden Aufgaben genauer festzulegen. Spezialisiert und erweitert wurde das Programm auf den folgenden Versammlungen, die 1900 in Paris, 1902 in Berlin, 1904 in St. Petersburg und 1906 in Mailand stattfanden.

Als eine ihrer Hauptaufgaben sieht die internationale Kommission die Ausführung von möglichst vielen gleichzeitigen internationalen Aufstiegen von bemannten und unbemannten Ballons und Drachen an, um den gleichzeitigen meteorologischen Zustand der gesamten Atmosphäre über einem größeren Raum kennen zu lernen.

Allmonatlich an jedem ersten Donnerstag finden die Aufstiege seit Dezember 1900 von all den Instituten Europas, die dafür eingerichtet sind, statt. Es beteiligen sich mehr oder weniger regelmäßig in Deutschland: Barmen, Berlin, Friedrichshafen, Hamburg, Lindenberg bei Beeskow, München, Straßburg; im übrigen Europa: Pavlowsk bei St. Petersburg, Moskau (Koutshino), Wien, Zürich, Rom, Madrid, Paris, Trappes, Itteville, Chalais-Meudon, Bath bei Bristol, Guadalajara und endlich Blue Hill (U. S. A.).

In Hamburg hat sich die Deutsche Seewarte zwar schon seit 1900

[1]) Vergl. Protokoll der 3. Versammlung der Internationalen Kommission für wissenschaftliche Luftschiffahrt. Straßburg 1903. S. 16 u. ff.

tunlichst durch Drachenaufstiege[1]) an den „internationalen Tagen“ beteiligt, allein erst seit Gründung ihrer Drachenstation in Groß Borstel[2]) im April 1903 konnte diese Beteiligung regelmäßig werden.

Im April 1905 sollte das Programm der Beteiligung an den internationalen Tagen von seiten Hamburgs noch erweitert werden und zwar durch unbemannte Ballonaufstiege. Dies wurde dadurch ermöglicht, daß dem Hamburgischen Physikalischen Staatslaboratorium, welches gemeinsam mit der Deutschen Seewarte die Vorbereitungen dazu in die Hand nahm, die Mittel für die Aufstiege staatsseitig zur Verfügung gestellt wurden. Das Personal wurde teils vom Staatslaboratorium, teils von der Seewarte gestellt.

Nach den Beschlüssen der Versammlung der internationalen Kommission in St. Petersburg im Jahre 1904 sollten neben den monatlich einmaligen internationalen Beobachtungen solche an drei aufeinander folgenden Tagen durch Ballon- und Drachenaufstiege ausgeführt werden, um auch die Veränderungen der meteorologischen Verhältnisse in der gesamten Atmosphäre — also die ganze große Maschine der meteorologischen Erscheinungen — kennen zu lernen, um ferner die Veränderungen in der Höhe mit denen am Erdboden vergleichen zu können, und um überhaupt hierdurch in der Erkenntnis und Erklärung über das Entstehen und Vergehen der Witterungserscheinungen weiter zu kommen.

Auf der Versammlung in Mailand, im September 1906, wurde das Programm der internationalen Kommission dahin erweitert, daß hinfort solche intensiven dreitägigen internationalen Beobachtungen in vier Monaten des Jahres stattfinden sollten.

Im Jahr 1905 gab es zweimal, im April und August, solche aufeinander folgende internationale Tage und zwar vom 4. bis 6. April und vom 29. bis 31. August. Diese letzteren Tage wurden anläßlich der am 30. August stattfindenden totalen Sonnenfinsternis gewählt, vor allem, weil an diesem Tage von den Astronomen, für die der Tag ohne weiteres international in unserem Sinne ist, und von den Expeditionen, die in das Gebiet der totalen Verfinsterung nach Spanien und Algerien, Kanada und Arabien gesandt worden waren, ohnehin schon neben den astronomischen auch meteorologische Beobachtungen in großem Umfange gemacht wurden. Eine wesentliche Bedeutung kann diesem Zusammenlegen des aeronautischen internationalen Tages mit dem Tage der Sonnenfinsternis indessen nicht beigelegt werden, wenn auch durchaus nicht behauptet werden soll, daß solch Zusammenlegen von keinerlei Nutzen sein kann.

---

[1]) Die Windverhältnisse gestatten an 75 % aller Tage Drachenaufstiege zu machen. Vergl. Jahresbericht der Deutschen Seewarte 1904 und 1905.

[2]) W. Köppen, Die Drachenstation der Deutschen Seewarte, Annalen der Hydrographie usw. 1906. Heft II und III.

II. Übersicht über die Registrierballonaufstiege vom April 1905 bis März 1906.

1. Aufstiegsort.

Die Registrierballons, auch Ballons sondes genannt, wurden in der ersten Zeit, von April bis Juni, vom Physikalischen Staatslaboratorium aus hochgelassen. Da die räumlichen Verhältnisse, die hohen Gebäude, Telephondrähte und Bäume ringsum die Auflassung und die für das Studium der Winde in der Höhe überaus wertvolle Verfolgung und Beobachtung des Ballons mittels Theodoliten[1]) sehr erschwerten, wurden nach Anbau einer Ballonhalle an das Stationsgebäude der Drachenstation der Deutschen Seewarte in Groß Borstel vom Juli 1905 an von dort und dem freien Drachenfelde aus die Ballonaufstiege ausgeführt.

Es soll nun zunächst, bevor wir uns mit den speziellen Ergebnissen näher befassen, ein allgemeiner Überblick über sämtliche Registrierballonaufstiege gegeben werden, die im Laufe des ersten Jahres dieser Tätigkeit der Deutschen Seewarte gemeinsam mit dem Hamburgischen Physikalischen Staatslaboratorium gemacht worden sind.

2. Tabellarische Übersicht der Aufstiege. (Tabelle 1.)

Die Tabelle 1 zeigt uns alles Bemerkenswerte über die Aufstiege, die dabei herrschenden meteorologischen Verhältnisse und die Wege, die die Ballons eingeschlagen haben. Insbesondere ist hervorzuheben, daß von den 15 Aufstiegen vom April 1905 bis März 1906, die, mit Ausnahme des Aufstieges vom 10. Mai, an internationalen Tagen stattfanden, nicht ein einziger Ballon oder Instrument verloren gegangen ist. Teisserenc de Bort in Paris und Assmann in Lindenberg geben ihre Verluste an Ballon sonde-Instrumenten nach mehrjährigen Erfahrungen zu 5 bis 10% an[2]). Für Hamburg hat das erste Ballonjahr in dieser Hinsicht äußerst günstig abgeschnitten, da hier der Nähe des Meeres und zahlreicher Süßwasser- und Moorflächen wegen auf einen größeren Verlust gerechnet wurde. Es ist allerdings bemerkenswert, daß der am 11. Mai aufgelassene Ballon lange Zeit für verloren galt, da er erst nach anderthalb Jahren, im Oktober 1906, in einem Moor aufgefunden wurde. Bis auf das durchgerostete Barometerrohr ist sowohl das Instrument — Teisserenc de Bort Nr. 288 — als die aufgezeichnete Barometerkurve gut erhalten; in 7,5 km Höhe ist die Uhr stehen geblieben. Eine Temperaturkurve ist leider nicht zu erkennen, daher mußte auch die Darstellung dieses Aufstieges auf Tafel I fehlen.

[1]) Vergl. die Anmerkung auf Seite 83.

[2]) Teisserenc de Bort gab auf der St. Petersburger Konferenz 5% Verlust an.

Tabelle 1.

Die Registrierballonaufstiege in Hamburg

Datum der Aufstiege	I. 5. April 1905	II. 6. April	III. 10. Mai	IV.[11]) 11. Mai	V. 7. Juni	VI. 6. Juli
Zeit des Aufstiegbeginns	8h 0′ V.	8h 20′ V.	8h 10′ V.	(8h 15′) V.	7h 59′ V.	8h 20′ V.
Zeit der größten Höhe	9 30	8 30	8 43.	(9 12)	8 44	8 53
Zeit der Landung	10 45	8 40	9 9	(10 9)[4])	9 29	9 15
Dauer in Minuten des Aufstiegs	90	10	33	(57)	45	33
Dauer in Minuten des Abstiegs	75 } 2h 45′	10 } 20′	26 } 59′	(57) } 1h 54′	45 } 1h 30′	22 } 55′
Landungsort	Freiheit b. Wittstock a. d. D.	Kirchwärder	Mechtersen b. Lüneburg	Altenmedingen b. Lüneburg	Neugraben b. Harburg	Grünhagen b. Lüneburg
Seine Entfernung vom Aufstiegsort, km	170	24	51	68	18	63
Seine Richtung[1]) = mittlere Windrichtung in der durchflogenen Luftschicht	N 62° W	N 28° W	N 35° W	N 37° W	N 30° O	N 32° W
Mittlere Horizontal(Wind)geschwindigkeit[2]) m. p. s.	17	21	14	10	3.3	19
Windrichtung und -geschwindigkeit am Aufstiegsort m. p. s.	W, 9	N 45° W, 12	N 67° W, 5	S 67° W, 6	N 45° O, 5	N 22° W, 5
Azimut(Wind[3])änderung mit der Höhe	+[10]) 28°	+ 17°	+ 32°	+ 60°	— 15°	— 10°
Größte erreichte Höhe, m	12 400	730	3000	(17 000)[4])	4700	5840
Vertikalgeschwindigkeit des Ballons m. p. s. beim Aufstieg	2.3	1.2	1.4	(4.9)	1.7	3.0
Vertikalgeschwindigkeit des Ballons m. p. s. beim Abstieg	2.8	1.2	1.7	—	1.7	4.4
Wolkenform und -höhe, m	ni, 350	ni, 900	str cu, 700	str, > 2000	str cu, 500	cu —
Bewölkung (0—10)	10	9	10	8	10	6
Relative Feuchtigkeit der Luft unten, %	89	80	80	78	81	75

[1]) Die Richtung ist nach Art der Windrichtungsangabe, also als Ergänzung des eigentlichen Azimuts zu 180°, gegeben, um sie mit der Windrichtung am Erdboden, zwei Reihen darunter, leichter vergleichen und die Änderung mit der Höhe besser erkennen zu können.

[2]) Die Zahlen dieser Reihe geben die Quotienten von Flugdauer und gradliniger Entfernung des Fundortes vom Aufstiegsort. Sie sind nur dann gleich der mittleren Windgeschwindigkeit in der durchflogenen Schicht, wenn sich, konstante Aufstieg- und konstante Abstieggeschwindigkeit vorausgesetzt, das Azimut während der ganzen Fahrt nicht geändert hat. Ist Änderung im Azimut vorhanden, wie meist der Fall (vergl. die Reihe vorher und nachher), so sind die tatsächlichen mittleren Windgeschwindigkeiten größer als die gegebenen Zahlen.

[3]) Die wirkliche Winddrehung mit der Höhe ist erheblich größer als die angegebenen Gradzahlen, die nicht die Drehung des Höhenwindes in einer bestimmten, möglicherweise größten, Höhe gegen den Wind am Erdboden, sondern nur die mittlere Drehung der gesamten Luftschicht gegen unten angeben.

[4]) Die eingeklammerten Zahlen konnten nicht mit demselben Grad der Genauigkeit ermittelt

von April 1905 bis März 1906.

VII. 29. August	VIII. 30. August	IX. 31. August	X. 5. Oktober	XI. 9. November	XII. 7. Dezember	XIII. 4. Januar 1906	XIV. 1. Februar	XV. 1. März	Mittel[9])
$8^h\,42'$ V. 9 59 10 21	$8^h\,40'$ V. 9 44 10 38	$8^h\,2'$ V. 9 22 10 52	$8^h\,29'$ V. (8 46) 9 3)	$8^h\,7'$ V. (9 12) (10 17)	$8^h\,22'$ V. (9 53) 11 40	$8^h\,31'$ V. 9 40 10 24	$8^h\,24'$ V. 9 10 9 56	$8^h\,36'$ V. 9 27 10 11	$8^h\,19'$ V. 9 18 10 9
$\left.\begin{matrix}77\\22\end{matrix}\right\}1^h\,39'$	$\left.\begin{matrix}64\\54\end{matrix}\right\}1^h\,58'$	$\left.\begin{matrix}80\\90\end{matrix}\right\}2^h\,50'$	$\left.\begin{matrix}(17)\\(17)\end{matrix}\right\}34'$	$\left.\begin{matrix}65\\65\end{matrix}\right\}2^h\,10'$	$\left.\begin{matrix}101\\101\end{matrix}\right\}3^h\,20'$	$\left.\begin{matrix}71\\44\end{matrix}\right\}1^h\,55'$	$\left.\begin{matrix}46\\46\end{matrix}\right\}1^h\,32'$	$\left.\begin{matrix}51\\44\end{matrix}\right\}1^h\,35'$	$\left.\begin{matrix}59\\51\end{matrix}\right\}1^h\,50'$
Bark b. Segeberg	Neuenfelde a. d. Elbe	Ostedt b. Ülzen	Hoisbüttel	Henstedt b. Ulzburg	Gerbitz b. Bernburg a. d. S.	Schieren b. Segeberg	Pröttlin b. W.-Warnow	Gagel i. d. Altmark	—
42	14.5	90	15	20	227	44	113	132	76
S 26° W	N 45° O	N 29° W	S 53° W	S 4° W	N 31° W	S 30° W	N 73° W[7])	N 57 W[8])	—
7.1	2.1	9.0	(7.5)	(2.6)	19	6,5[5])	21	23.3	11.5
S, 4	still	N 45° W, 7	S 45° W, 9	N 22° W, 4	S, 8	S 22° O, 5	S 45° W, 10	W, 9	—, 6.1
+ 26°	—	+ 16°	+ 8°	24 ± 180°	+ 149°	+ 52°	+ 62°	+ 33°	+[10]) 37°
17 400	16 400	12 000	3160	15 550	18 000	12 600	12 450	15 100	11 830
3.8 13.2	4.3 5.1	2.5 2.2	(3.1) (3.1)	3.7 —	3.3 (2.8)	3.2 4.8[6])	4.5 4.5	4.9 5.7	3.3 4.3
ni, 400	$\frac{\text{al str}}{\text{cu}}$, $\frac{4000}{900}$	⊙	$\frac{\text{str}}{\text{ni}}$, $\frac{1000}{450}$	str, 300	ni, 500	ni., 540	str, 800	cu, 1400	—
10.	10	0	10	6	10	10	10.	7	8
95	90	60	91	98	87	88	96	98	86

werden wie die übrigen Zahlen, da entweder das Barogramm oder das Thermogramm ungenau oder auch die Uhr während des Aufstiegs stehen geblieben war.

[5]) Über 6000 m Höhe nur 3,0 m. p. s.; darunter 8,1 m. p. s.

[6]) Von 8000 m Höhe bis zum Erdboden 9,5 m. p. s. Fallgeschwindigkeit.

[7]) Vom Erdboden bis zur Wolkenhöhe (800 m) S 69° W.

[8]) Vom Erdboden bis zur Wolkenhöhe (1400 m) N 60° W.

[9]) Bei der Mittelbildung ist der bei sehr stürmischem Wetter mißlungene Aufstieg vom 6. April (Nr. II) nicht mit berücksichtigt.

[10]) + bedeutet eine Richtungsänderung mit der Höhe im Sinne des Uhrzeigers, — die entgegengesetzte Drehung.

[11]) Dieser Aufstieg konnte auf Tafel 1 nicht dargestellt werden, da eine Temperaturkurve nicht aufgezeichnet war.

3. Platzen des Ballons.

Es sei hinsichtlich der Ausführung der Aufstiege daran erinnert, daß zunächst ein Gummiballon von etwa 1,5 bis 2 m unausgedehntem Durchmesser mit Wasserstoff gefüllt wird, der in eisernen Bomben auf 150 Atmosphären komprimiert im Handel zu haben ist. Die Bomben fassen etwa 5 cbm von dem Gas, das man langsam durch ein Ventil in den Ballon einströmen läßt. Da 1 cbm Wasserstoffgas 0,1 kg, 1 cbm Luft aber 1,3 kg wiegen, so wird ein mit 1 cbm Wasserstoff gefüllter Ballon, der auch 1 cbm Luft verdrängt, noch 1,2 kg Last heben können; ein Ballon von 2 m Durchmesser, oder 4 cbm Inhalt, wird demnach 4,8 kg Auftrieb besitzen. Über den fest zugebundenen Ballon wird dann ein Fallschirm aus dünner Seide gestülpt, von dessen Rand aus acht dünne Schnüre von 10 m Länge nach dem daran hängenden, gut durch Korbgeflecht gegen äußere Stöße geschützten Instrument führen, das vom Ballon mit hochgetragen werden soll. Im Instrument wird der Luftdruck und damit die Höhe, die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit auf einer sich drehenden Trommel fortlaufend während des ganzen Aufstiegs in Kurvenform aufgezeichnet. Instrument, Gummiballon, Fallschirm und Schnüre wiegen zusammen nur etwa 2 kg, so daß noch mehr als 2 kg Auftrieb verbleiben, die den losgelassenen Ballon zu schnellem Emporsteigen zwingen. Je höher der Ballon kommt, desto geringer wird bekanntlich der Luftdruck außen gegenüber dem Innendruck, sodaß sich der Gummiballon mehr und mehr ausdehnt, bis er schließlich platzt. Das Gas entweicht im Augenblick und das Instrument fällt, am Fallschirm hängend, zur Erde nieder; es wird dann gefunden und gemäß den beigegebenen Anweisungen dem Institut zurückgesandt.

Anstatt des Fallschirms benutzt man auch, besonders bei Registrierballonaufstiegen auf dem Meere, wo man sonst das Instrument nicht wiederfinden würde, einen zweiten, weniger stark gefüllten Ballon, der nach dem Platzen des Hauptballons ebenso wie ein Fallschirm wirkt, und nach dem Fall des Instruments als Marke zum Wiederauffinden dient.

Die ersten fünf Aufstiege (Tabelle 2) sind mit zwei Gummiballons gemacht, deren Durchmesser in unausgedehntem Zustande etwa 120 cm betrug. Wahrscheinlich ist keinmal (bei Aufstieg IV unbestimmt, siehe II 2.) das vorschriftsmäßige Platzen des einen der beiden Ballons eingetreten[1]). Neben dem stürmischen und regnerischen Wetter, das ungünstigerweise grade an den Tagen herrschte, ist wohl der zu geringe

[1]) Die Methode der Tandemballons, die auf der Forschungsreise S. M. S. „Planet“ in bisher größtem Umfang betrieben wird, vgl. Annalen der Hydrographie etc. 1906. IV u. f., wurde zuerst von Hergesell (vgl. „Beiträge zur Physik der freien Atmosphäre“, Straßburg 1905, S. 200) und von Kusnezow angewandt. Vgl. auch L. Palazzo, Primi Esperimenti di Palloni-sonde in Italia, Roma 1904.

Auftrieb der Ballons infolge zu geringer Füllung Schuld daran gewesen. Die Aufstieggeschwindigkeit betrug, wie aus der Tabelle 1 ersichtlich ist, nur 1,2 bis 2,3 m. p. s. Diese Geschwindigkeit genügt also anscheinend nicht, um ein Platzen des Ballons in der Höhe zu bewirken, wenigstens bei der Güte der verwendeten Ballons, da das Wasserstoffgas zu schnell durch die Poren und kleineren Löcher entweicht und der Ballon dadurch mit der Zeit seinen Auftrieb mehr und mehr verliert[1]). Bei den späteren Aufstiegen wurde nur ein Ballon von etwa 150 cm unausgedehntem Durchmesser, also von etwa doppeltem Inhalt wie die ersten, genommen und ihm größerer Auftrieb gegeben. Der Ballon platzte dann auch vorschriftsmäßig in der Mehrzahl der Fälle (Nr. VI, VII, VIII?, IX, XII?, XIV, XV), so daß das Instrument am Fallschirm, am 29. August, aus etwa 17000 m Höhe sogar mit 13,2 m. p. s., glücklicherweise ohne Schaden zu nehmen, herunterfiel.

4. Erreichte Höhe.

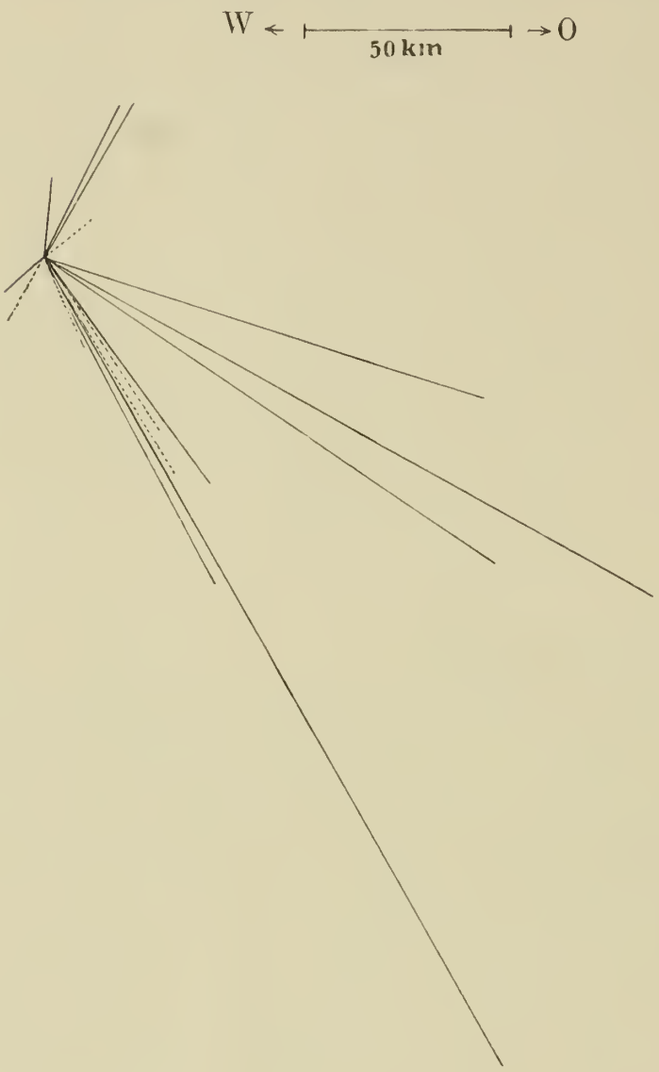
Bis auf den Aufstieg vom 5. Oktober (Nr. X), an dem sehr stürmisches und regnerisches Wetter herrschte, und der Ballon wahrscheinlich gleich im Anfang durch Regen und Eisbildung am Ballon und an den herabhängenden langen Schnüren, an denen das Instrument am Fallschirm hängt, sehr beschwert wurde, so daß er sehr bald, ohne zu platzen, wieder fiel und das Instrument während einer stürmischen Schleiffahrt stark beschädigte, gelangen die Aufstiege vom August an sehr gut; es wurde meist die Höhe von 9000 bis 10000 m, die man als kritische bezeichnen könnte und die uns im folgenden noch besonders beschäftigen wird, weit überschritten. Die mittlere Höhe der 10 über 12000 m hoch gehenden Aufstiege betrug 14,5 km; der höchste Aufstieg war am 7. Dezember mit etwa 18 km Höhe.

5. Der zurückgelegte Weg.

Der horizontale Weg, den die Ballons zurückgelegt haben, hing naturgemäß in Richtung und Geschwindigkeit vom jeweiligen Winde ab. Dieser zeigte in der Höhe in den meisten Fällen gegen die untere Richtung eine Abweichung um zwei bis drei Strich nach rechts; eine Ausnahme hiervon bildeten nur Aufstieg XI und XII (siehe unten). Die Dauer der Fahrt betrug bei den 10 höheren Aufstiegen anderthalb bis drei Stunden.

[1]) Seit Sommer 1906 werden Ballons, die aus besserem Gummi hergestellt sind und nicht so viel Löcher zeigen, von Paturel-Paris benutzt, während früher die Ballons von der Kautschuk- und Guttapercha-Gesellschaft aus Hannover bezogen wurden.

Die Lage sämtlicher Landungsorte, in bezug auf Richtung und Entfernung vom Aufstiegsort, ist in nebenstehender Figur dargestellt; die punktierten Linien führen zu den 5 Aufstiegen, die weniger als 6000 m (im Mittel 3500 m) Höhe erreicht haben. Aufstieg XII hat mit 227 km den weitesten Weg erreicht.



6. Die Fahrt des Ballons am 9. November.

(Tafel 2.)

An diesem Tage konnte der Ballon bei schwachem Nordnordostwind 10 Minuten lang, bis 2000 m Höhe, verfolgt werden, er verschwand dann hinter Wolken im Azimut S 45° W unter dem Höhenwinkel von 30°, so daß er bis dahin in horizontaler Projektion 3,5 km nach SW zurück gelegt hatte. Gefunden wurde er jedoch 20 km vom Aufstiegsort entfernt in N 4° E! Die mittlere Windrichtung in 2 bis 14 km Höhe — so hoch flog der Ballon bei diesem Aufstieg — war also an dem Tage SSW, fast entgegengesetzt der Nordostrichtung der unteren 2000 Meterschicht. In der Höhe muß also schon das vom Ozean, vom westlichen Irland, heranrückende Minimum (vgl. Tafel 2) für die Luftzirkulation maßgebend gewesen sein, während unten das Minimum über Kontinentaleuropa die Wetterlage beherrschte.

7. Die Fahrt des Ballons am 7. Dezember. (Tafel 2.)

Noch interessanter ist der Aufstieg vom 7. Dezember. Bei kräftigem Südwind wurde der Ballon aufgelassen; schon nach drei Minuten verschwand er in den Wolken. Man erkannte an seiner Bewegung, daß in 600 m Höhe der Wind mit großer Stärke aus Südwest wehte; darüber bis mindestens 1200 m wehte ebenfalls Südwestwind, aber mit etwas geringerer Stärke, wie aus dem gleichzeitigen Drachenaufstieg ersehen wurde. Drei Stunden dauerte an dem Tage Auf- und Abstieg des Ballons.

Er landete, mit frischem Südwind aus Süden herangetrieben, in Gerbitz bei Bernburg an der Saale! Der Ballon muß demnach innerhalb weniger als drei Stunden einen Weg von mindestens 250 km nach Süden, genauer nach Süd zu Ost, zurückgelegt haben. Hieraus erhalten wir für die Höhe von über 2000 m eine mittlere Windgeschwindigkeit von mehr als 20 m. p. s. Auf der bekanntlich für Meereshöhe gezeichneten Wetterkarte (vgl. Tafel 2) von diesem Tage würde dieser Nordwind eine dem Gradienten genau entgegengesetzte Windrichtung bedeuten. Wir müssen daraus schließen, daß es an dem Tage in der Höhe in Ostdeutschland und Rußland sehr viel kälter gewesen sein muß, als über West- und Nordwesteuropa, um den stürmischen Nordwind oben durch eine Verlagerung des Minimums weit nach Osten hin erklären zu können, denn allein der Zentrifugalbewegung der Luft in der Höhe des Wirbels können wir ein so starkes Abströmen des Windes nicht zuschreiben. Die Ballonaufstiege an andern Orten von demselben Tage werden uns vielleicht nähere Auskunft bringen, wenn sie in den „Veröffentlichungen der Internationalen Kommission in Straßburg“ erschienen sein werden.

Leider versagte die Registrierung der Federn des Instrumentes an diesem Tage 50 Minuten nach dem Beginn des Aufstiegs in einer Höhe von 9680 m. Nehmen wir gemäß andern Beispielen, bei denen der Ballon ebenfalls nicht geplatzt ist, eine gleichbleibende Vertikalgeschwindigkeit für Auf- und Abstieg an, so muß der Ballon etwa 18 000 m hoch geflogen sein.

8. Die Thermohypsen der Aufstiege. — Graphische Übersicht.

(Tafel 1.)

Auf Tafel 1 sind die Thermohypsen sämtlicher 15 Registrierballonaufstiege graphisch dargestellt, als Ordinaten die Höhen, als Abszissen die Temperaturen genommen, die für jeden folgenden Aufstieg um 30 mm, oder 30°, nach rechts verschoben sind. Wo die Temperaturen der Abstiege gut registriert waren, sind auch diese als gestrichelte Linie eingezeichnet. Sie unterscheiden sich nicht wesentlich von den Aufstiegkurven und zeigen die Unstetigkeiten meist in gleichen Höhen und Dimensionen. Auf Kurve 13 ist beim Abstieg in 2600 m Höhe, auf Kurve 14 in 4200 m Höhe eine geringe Temperaturumkehr erkennbar, die beim Aufstieg noch nicht vorhanden war. Einen Einblick in die physikalisch-meteorologischen Ergebnisse der Aufstiege werden wir am besten bei der eingehenden Betrachtung einiger Spezialfälle gewinnen, wozu wir die drei aufeinanderfolgenden internationalen Tage im August wählen.

III. Die internationalen Tage vom 29. bis 31. August 1905.

1. Wetterlage und Witterung in Hamburg. (Tafel 2.)

a) Der 29. August.

Am 29. August lag ein Minimum unter 740 mm in der südlichen Nordsee, nahe westlich von Hamburg, so daß hier frische südliche und südwestliche Winde wehten.

Der Himmel war trübe, nimbus-Wolken erstreckten sich von 400 m an bis in große Höhen; sie wurden am Nachmittag nach 5 Uhr von Sonnenstrahlen, aber nur vorübergehend, durchbrochen.

b) Der 30. August.

Am 30. August war das Hauptminimum, das sich bis 735 mm vertieft hatte, nach der Ostsee, zwischen Memel und Südschweden, gewandert; ein flacher Ausläufer von 740 mm war zurückgeblieben und lag am Vormittag über Hamburg, wo, nach dem Ballon sonde-Aufstieg zu urteilen, bis in die größten Höhen, bis 16 km Höhe, Windstille oder sehr schwacher Nordost herrschte (vgl. S. 17 und Tabelle 1, VIII). Erst am Nachmittag verschmolz das Teilminimum mit dem Hauptminimum im Osten und setzten in Hamburg mäßige nordnordwestliche und nördliche Winde ein. Das Barometer stieg infolge des sich von Irland ausbreitenden Hochdruckgebiets.

Am Morgen waren nur hohe strato-cumuli am Himmel, in denen der Ballon in etwa 2500 m Höhe verschwand. Diese lösten sich jedoch bald auf und es bildeten sich noch am Vormittag die cumuli der Tagesperiode, die als cumulus und cumulo-nimbus-Wolken auch während des Nachmittags den Himmel zum größten Teil bedeckten; nach 6 Uhr wurde es klar.

c) Der 31. August.

Am 31. August rückte das Minimum von Memel weiter nach Osten und Nordosten, nach dem nördlichen Rußland. Das Maximum breitete sich von Irland nach Südosten über Frankreich aus, so daß die Winde bei nur noch wenig steigendem Barometer im Laufe des Tages von Nord bis Westnordwest zurückdrehten.

Um 11 Uhr vormittags bildeten sich an dem bis dahin wolkenlosen Himmel cumuli, die am Nachmittag nicht wieder verschwanden, sondern in massigere cumulo nimbus und stratus übergingen. Diese brachten uns am folgenden Tage Regen.

2. Übersicht über die Ballon- und Drachenaufstiege in Hamburg.

An allen drei Tagen gelang es, nachdem am Morgen je ein Registrierballon hochgelassen war, einen Drachenaufstieg, wenn auch am zweiten Tage erst am Nachmittag, bis in große Höhen zu bringen:

	Registrierballon	Drachen
Am 29. August	17 400 m hoch	3230 m hoch
„ 30. „	16 400 „ „	4800 „ „
„ 31. „	12 000 „ „	4440 „ „
	45 800 m hoch	12 470 m hoch.

Im ganzen wurden an den drei Tagen mit den Registrierinstrumenten 58 270 m Höhe durchlaufen.

3. Die Resultate aus den Drachenaufstiegen. (Tabelle 2.)

Die Ergebnisse der Drachenaufstiege sind in der Tabelle 2 zusammengestellt. Die schrägen Zahlen sind die Auswertungen der Abstiege.

Am 29. August gibt Auf- und Abstieg die gleichen Resultate.

Am 30. August, wo der Abstieg am späten Abend geschieht, ist es naturgemäß unten kälter und feuchter geworden; in der Höhe, in 3 bis 4000 m, ist es jedoch eher wärmer und trockener. Diese Änderung ist aber nicht, wie man vielleicht annehmen könnte, auf eine verspätete Tagesperiode in der Höhe zurückzuführen, da eine solche, besonders nach den neueren Untersuchungen des Aeronautischen Observatoriums in Lindenberg und der Gebrüder Wegener[1]) im Jahre 1905 und 1906, in diesen Höhen nicht mehr existiert, sondern durch eine im Laufe dieser Tage stattfindende allmähliche Erwärmung der Luftschichten aus irgend welchen Ursachen der Änderung in der Wetterlage zu erklären. Die Windstärke hat während des Aufstieges besonders in den mittleren Höhen von 1 bis 4000 m sehr zugenommen, was ebenfalls durch die fortschreitende Wetterlage und nicht durch die Tageszeit bedingt sein dürfte.

Am 31. August ist es während des Abstieges wärmer als während des Aufstieges und oben auch etwas trockener. Der Wind dreht im Laufe des Vormittags langsam, in den untersten Schichten zuerst, von Nordwest nach Westnordwest zurück, wie überhaupt ein Zurückdrehen des Windes in unsern Breiten meist von der untersten erdnahen Schicht auszugehen scheint, während ein Ausschießen sich stets in der Höhe zuerst bemerkbar macht.

Im Laufe der zwei Tage ist die Temperatur in der ganzen Luftsäule, wenigstens bis 3200 m Höhe, um 2° bis 3° gestiegen, die

[1]) Vergl. die Anmerkung des unter Tab. 3 zitierten Berichts von Dr. K. Wegener.

Tabelle 2. **Drachenaufstiege in Hamburg-Groß Borstel.**

Datum / Zeit	29. August 1905 9^h a — $1^3/_4$ p				30. August 1905 $3^3/_4{}^h$ p — $9^1/_4$ p					31. August 1905 $9^1/_4{}^h$ a — $2^3/_4$ p				
Höhe	Temperatur		Feucht.	Wind	Temperatur		Feucht.	Wind		Temperatur		Feucht.	Wind	
unten	13.5	*13.5*	95 *97*	S 4	16.8	*12.8*	73 *87*	NNW 4	*NNW 4*	15.5	*17.4*	60 *63*	NW 7	*WNW 7*
200	12.4		97 *97*	SSW 9	14.7		74 *87*	N 7		12.9	*15.2*	62 *66*	NW 12	*WNW 8*
500	10.0		100 *97*	SSW 15	12.0	*10.8*	78 *87*	N 10	*NW 10*	10.4	*12.6*	70 *70*	NW 14	*NW 10*
1000	6.8	*7.0*	99 *97*	SW 16	8.3	*6.4*	85 *86*	N 11	*NNW 16*	6.3	*8.0*	75 *75*	NW 19	*NW 10*
1160														
1500	4.1	*4.2*	98 *97*	SSW 9	5.1	*4.2*	88 *86*	N 10	*N 17*	3.5	*3.6*	80 *78*	NNW 17	*NW 12*
1630										2.4		80		
1840										3.9	*0.3*	40 *80*		
2000	0.9	*1.4*	98 *98*	SSW 10	1.5	*1.5*	86 *48*	N 9	*N 18*	2.8	*3.1*	70 *46*	NNW 11	*NNW 16*
2100						*0.9*	*50*							
2150						*1.3*	*55*							
2200	—0.5		98 *97*							1.6		75		
2250										1.9		60		
2400		*—0.6*	*97*											
2500	—0.5	*—0.6*	98 *96*	SSW 10	—1.1	*—1.2*	84 *78*	N 10	*NNW 14*	1.2	*1.5*	20 *40*	NNW 12	*NNW 15*
2700						*—3.1*	*86*				*0.3*			
2750						*—2.8*	*50*				*0.6*			
2850						*—2.8*	*50*							
2950						*—3.3*	*60*							
3000	—4.0	*—3.8*	97 *96*	SSW (11)	—3.5	*—2.7*	78 *50*	N 10	*NNW 13*	—1.6		30 *15*	NNW 12	*NNW 13*
3230	—5.4		97	SSW (11)										
3500					—6.8		80 *50*	N 11	*NNW 14*	—5.3	*—3.3*	40 *5*	NNW 12	*NNW 13*
3550										—4.5				
3900						*—9.2*	*70*		*NNW 15*		*—6.2*			
4000					—8.9	*—8.5*	77 *80*	N 14	*NNW 14*	—7.1	*—5.5*	3 *1*	NNW 12	*NNW 12*
4440										—9.2		1	NNW 12	
4500					—10.6	*—10.7*	78 *78*	N 17	*N 17*					
4800					—12.2		78	N 18						
Dauer des Aufstiegs	114′				162′					192′				
Dauer des Abstiegs	*178′*	292′ = 4 h 52′			*180′*	342′ = 5 h 42′				*139′*	331′ = 5 h 31′			
Länge des benutzten Drahtes, m	9100				9500					10 650				
Mittlere Windrichtung	SSW				N			*NNW*		NNW			*NW*	
Mittlere Windgeschwindigkeit	11.5				11.4			*14.4*		13.3			*12.3*	
Vertikalgeschwindigkeit m. p. s. Aufstieg	0.47				0.49					0.39				
Vertikalgeschwindigkeit m. p. s. Abstieg	*0.32*				*0.45*					*0.53*				
Wolken form	ni				cu ni			str cu		al str		einzelne cu		
Wolken höhe	von 400 m an (Drachen beeist oben)				900—1500			2500—2700		von 4300		1200—1640 m		

Feuchtigkeit der Luft hat, besonders in der Höhe, stark abgenommen und dennoch bekommen wir in der darauffolgenden Nacht und am 1. September reichlichen Regen, der demnach auf Transport von Feuchtigkeit, und zwar aus den feuchteren westlichen Gegenden, zurückgeführt werden muß.

4. Die Beobachtung der partiellen Sonnenfinsternis.

Die Beobachtung der partiellen Sonnenfinsternis am 30. August war für Hamburg und Groß Borstel nicht besonders günstig. Schon der Beginn der Verfinsterung um $2^h\ 13'$ war der Beobachtung durch Wolken entzogen. Zwei Minuten später zeigte sich auf den cu- und ci cu-Wolken im Abstand von 22° von der Sonne ein farbiger Sonnenring, als Halbkreis, nach dem Zenit zu geöffnet. Diese Erscheinung währte etwa eine Minute und wiederholte sich in der gleichen Weise sechs Minuten später. Um $1^h\ 22'$ trat die Sonne aus den Wolken heraus, auf der rechten unteren Seite durch den Mond schon ein wenig abgedeckt. Um $1^h\ 30'$ traten wieder cu vor die Sonne, deren zunehmende Verfinsterung man weiterhin von $1^h\ 31'$ bis $1^h\ 32'$ und von $1^h\ 41'$ bis $2^h\ 1'$ beobachten konnte, wo schon fast die Hälfte der Sonne durch den Mond verdeckt war. Später blieb sie hinter Wolken verhüllt. Um $2^h\ 5'$ rückte ein dunkler cu ni aus Norden heran, der von $2^h\ 6'$ bis $2^h\ 12'$ schwachen Regen brachte. Die Temperatur sank infolgedessen, und wohl nicht infolge der Sonnenfinsternis, um 2°. Von $2^h\ 43'$ bis $2^h\ 46'$ und von $2^h\ 55'$ bis $2^h\ 56'$ fielen nochmals einige Regentropfen. Danach stieg die Temperatur wieder langsam von 16,4° auf 16,8°.

Ob infolge der partiellen Sonnenfinsternis hierselbst auf dem Erdboden eine Temperaturerniedrigung eingetreten ist, konnte bei diesem veränderlichen Wolkenhimmel und der Abkühlung durch Regen gerade zur Zeit der größten Verfinsterung nicht festgestellt werden. Jedenfalls würde die Erniedrigung bei gleichmäßiger Himmelsbedeckung nur wenige zehntel Grad betragen haben; in den Gebieten der totalen Verfinsterung beträgt dagegen bei hochstehender Sonne die Erniedrigung etwa 3°. Auch aus dem Thermogramm der Deutschen Seewarte ist eine Abkühlung nicht zu erkennen; eine solche fand vielmehr gerade vor 1^h und nach 3^h statt, während in der Zwischenzeit die Temperatur konstant blieb.

Es konnten von der Drachenstation aus zwei photographische Aufnahmen der verfinsterten Sonne gemacht werden.

5. Auswärtige Registrierballonaufstiege. (Tafel 3—5.)

Außer in Hamburg fanden an den internationalen Augusttagen vornehmlich in Lindenberg, in Straßburg und in Paris genaue Sondierungen der Atmosphäre statt, deren Ergebnisse in bezug auf die Tempera-

turen uns von der internationalen Kommission zur Verfügung gestellt wurden. Um die vier Orte miteinander zu vergleichen, betrachten wir die Ordinate wieder als Höhe, die Abszisse als Temperatur und tragen zunächst auf Tafel 3 die am 29. August gefundenen Höhentemperaturen für alle vier Stationen in dasselbe Koordinatensystem ein und erhalten in H die Zustandskurve der Temperatur über Hamburg, in L über Lindenberg, in S über Straßburg und in P über Paris. Tafel 5 gibt die entsprechenden Kurven für den 31. und Tafel 4 die Thermohypsen für den 30. August, zu denen sich noch die Münchener Kurve M gesellt.

6. Die Temperaturmessungen in der Höhe mittels Registrierballons.

a) Ventilation und Sonnenstrahlung.

Bevor wir aus den Temperaturkurven weitere Folgerungen ziehen, müssen wir uns vor allem darüber klar werden, mit welchem Grad von Genauigkeit wir es bei unsern Beobachtungen und Aufzeichnungen zu tun haben; ob die Temperaturangaben, die wir aus der Höhe mittels Registrierballons erhalten, so genau sind, daß ihre Verschiedenheiten an den verschiedenen Orten auch auf die Tatsachen und nicht auf ungenaue Temperaturregistrierungen oder Höhenbestimmungen zurückzuführen sind. Während die letzteren bei gut aufgezeichneter Kurve auf etwa 2 % genau angebbar sind, können die Temperaturaufzeichnungen sowohl durch zu geringe Ventilation des Thermometers gefälscht sein, indem sie den wahren Temperaturen nachhinken, als auch infolge der in der Höhe herrschenden enormen Sonnenstrahlung, falls der Aufstieg bei Tage geschieht, viel zu hohe Werte liefern.

b) Ventilation bei Temperaturmessung an der Erdoberfläche.

Nach Versuchen, die Assmann mit seinem Aspirationspsychrometer angestellt hat, muß dieses mit einem Luftstrom von etwa 2 m. p. s. ventiliert sein, damit man an dem der Sonnenstrahlung ausgesetzten mit doppeltem Strahlungsschutz umgebenen Thermometer die wirkliche Temperatur der Luft, unbeeinflußt von Strahlung, bis auf 0,1° genau erhält. Nun ist die Ventilation eines Thermometers gegeben, wie Assmann in seiner Arbeit über „das Aspirationspsychrometer“ hervorhebt, durch die Menge der Luft, die in der Zeiteinheit an dem Thermometer vorbeistreicht. Diese ist nun aber gleich ihrer Dichte multipliziert mit der Geschwindigkeit. Da die Dichte bis etwa 800 m Höhe nur um $^{72}/_{760}$ also um etwa $^{1}/_{10}$ abnimmt, so kann der Einfachheit wegen und ohne erheblichen Fehler im Flachlande die Ventilation proportional der Geschwindigkeit gesetzt werden[1]). Als notwendige Geschwindigkeit

[1]) Assmann, Das Aspirationspsychrometer, S. 161. Berlin 1892.

für den angegebenen Grad der Genauigkeit findet Assmann aus Versuchen, die er, um möglichst starke Strahlung zu haben, auf dem Säntis angestellt hat, 2,3 m. p. s. Nun liegt der Säntis 2500 m über dem Meere, die Dichte der Luft ist daselbst etwa $^{556}/_{760}$ der Dichte in Meereshöhe; es muß demnach hier — im Meeresniveau — schon ein Luftstrom von $^{556}/_{760} \cdot 2{,}3 = 1{,}68$ m. p. s. genügen bei selbst gleicher Sonnenstrahlung wie auf dem Säntis. Aus den Messungen, die ebenfalls bei möglichst starker Sonnenstrahlung aber im Meeresniveau bei etwa 760 mm Druck angestellt sind, wird in der Tat eine geringere Geschwindigkeit als 2,3 m. p. s., nämlich gerade unser berechneter Wert von 1,7 m. p. s. für hinreichend gefunden[1]). Zur Erklärung hierfür braucht man also nicht die an der Erdoberfläche schwächere Sonnenstrahlung heranzuziehen.

c) Ventilation in 12 km Höhe.

Hiernach müßten wir beispielsweise für die Ventilation in 12 km Höhe, in der sich das registrierende Thermometer, am Ballon hängend, befinden möge, da der Luftdruck in dieser Höhe etwa 150 mm, also $^1/_5$ Atmosphäre beträgt, und falls wir die gleiche Genauigkeit der Temperaturangaben wie unten, auf 0,1°, erzielen wollten, eine Geschwindigkeit von $5 \cdot 1{,}7 = 8{,}5$ m. p. s. fordern, die aber bei den Aufstiegen in Hamburg sowie auch bei denen an andern Instituten bei weitem nicht erreicht ist. Außerdem ist die Sonnenstrahlung in der Höhe erheblich größer als unten, so daß wir die Ventilationsgeschwindigkeit deswegen noch mehr vergrößern und den Strahlungsschutz, falls möglich, noch mehr verbessern müßten; andrerseits aber — und das ist für uns von wesentlicher Bedeutung — verlangen wir aus der Höhe nicht die Temperaturen bis auf 0,1° genau. Wir wären zufrieden, wenn die Thermographen auf $^1/_2$° bis 1° sichere Angaben lieferten.

d) Die für die zu fordernde Genauigkeit notwendige Ventilation.

Für das Meeresniveau ergibt sich nach Assmanns Psychrometer eine Genauigkeit der Temperaturangaben auf 0,5° schon bei 0,6 m Ventilationsgeschwindigkeit. In 12 km Höhe würde dieser Ventilation $5 \cdot 0{,}6 = 3{,}0$ m. p. s. entsprechen. Da indessen der Schutz des Thermographen gegen die hier stärkere Sonnenstrahlung im Ballonapparat nicht so vollkommen erreicht werden kann, wie beim Aspirationspsychrometer, so muß der Temperaturfehler größer sein als 0,5°. Ein bestimmtes Maß läßt sich leider nicht angeben. Der Transmissionskoeffizient der Luft in unserer Breite ist bei hochstehender Sonne nach

[1]) Assmann, Das Aspirationspsychrometer, S. 177.

Zenker etwa 0,7. In 12 km Höhe kann er nur wenig unter 1[1]) sein, und die Sonnenhöhe macht hier fast nichts mehr aus.[2]) Es ist also $\frac{1}{0,7} = 1,43$ das Verhältnis der Stärke der Sonnenstrahlung in der Höhe zu der maximalen Sonnenstrahlung hier unten. Wir müßten demnach statt 3,0 $3,0 . 1,43 = 4,3$ m. p. s. Ventilationsgeschwindigkeit anwenden, um den der vermehrten Sonnenstrahlung in der Höhe entspringenden Fehler bis auf 0,5° zu beseitigen. Dabei haben wir angenommen, daß dieser Fehler durch eine der Sonnenstrahlung proportional — dem Transmissionskoeffizient umgekehrt proportional — zunehmende Ventilation aufgehoben wird. Es bliebe dann nur noch der Fehler zu beseitigen, der durch den im Vergleich zum Aspirationspsychrometer schlechteren äußeren Schutz verursacht würde. Vergleiche und Versuche hierüber, wenigstens am Erdboden, nämlich Aufzeichnungen des Ballonapparats sowohl im Schatten wie in starker Sonnenstrahlung, in beiden Fällen durch gleichförmige Bewegung oder Rotation gleichmäßig ventiliert, könnten uns wahrscheinlich in dieser Hinsicht schon einige, wenn auch bedingte, Aufschlüsse über diese letztgenannten Fehlergrenzen bringen.

e) Die Geschwindigkeit des Ballons beim Auf- und Abstieg.

Es fragt sich nun, einer wie starken Ventilation die Thermometer während der Aufstiege ausgesetzt sind. Durch die horizontale Fortbewegung ist, wenn man von dem gelegentlichen Kreisen des Instruments absieht, offenbar gar keine Ventilation vorhanden, denn diese Fortbewegung ist gleich der Geschwindigkeit des Windes, d. h. wie die ihn umgebende Luft selbst. Es bleibt also nur die Ventilation, die durch die vertikale Aufsteiggeschwindigkeit des Ballons bewirkt wird. Diese ist aber, wenn man dessen Auftrieb auch noch so groß macht, wegen des Luftwiderstandes begrenzt. Wäre der Ballon vollkommen elastisch und ließe er während seines Aufsteigens bis zu seinem Platzen kein Gas entweichen, so würde die Auftriebskraft dieselbe bleiben und die Vertikalgeschwindigkeit müßte sogar wachsen; denn der Luftwiderstand, der proportional der Dichte der Luft und dem Querschnitt des Ballons ist, nimmt nach oben hin ab, da die Dichte in der dritten Potenz abnimmt, während der Querschnitt nur im Quadrat zunimmt. In Wirklichkeit ist aber eine Zunahme der Vertikalgeschwindigkeit bei keinem der Aufstiege in Hamburg beobachtet worden; die Geschwindigkeit bleibt meist bis zur größten Höhe fast konstant;

[1]) Es ergibt sich bei hochstehender Sonne für den Transmissionskoeffizienten in 12 km Höhe $1 - {}^1/_5 (1 - 0,7) = 0,94$. Da die Luft in der Höhe aber relativ noch weniger absorbierende feste Teilchen und Wasserdampf enthält als unten, so ist der Koeffizient noch näher an 1 als 0,94.

[2]) Vgl. S. 83, oben.

die genannten Bedingungen sind eben nicht erfüllt: der Gummi des Ballons ist weder vollkommen elastisch noch ohne Poren und Löcher. Tritt durch diese während des Aufstiegs das Gas allzuschnell nach außen, so verliert der Ballon noch schneller seinen Auftrieb, die Vertikalgeschwindigkeit wird bald kleiner, und der Ballon erreicht immer langsamer, zuletzt fast horizontal fortschwebend, seinen höchsten Punkt, den er ebenso langsam wieder verläßt. Ventilation ist in diesem Fall oben überhaupt nicht vorhanden, und wir erhalten gänzlich falsche, um 20 bis 30 und mehr Grad zu hohe Temperaturen, wie Aufstieg 1 und 9 offenbar zeigen (Tafel 1). Auch 3 und 5 sind schon in geringer Höhe derartig beeinflußt.

Bleibt die Aufstieggeschwindigkeit etwa konstant, was nach vorliegenden Erfahrungen eintritt, wenn sie mehr als 3 m. p. s. beträgt, so kommt der Ballon auch zum Platzen, und das Instrument fällt, ohne nur zeitweise unventiliert zu sein, am Fallschirm (Aufstiege 5 bis 15) oder an einem zweiten kleineren nicht geplatzten Ballon, der wie ein Fallschirm wirkt, herab und zwar nach den Erfahrungen meist mit der Geschwindigkeit von 4 bis 5 m. p. s. (Nr. 6, 8, 14). Dünne Gazefallschirme lassen das Instrument schneller fallen (N. 7, 13, 15).

Die Aufstieggeschwindigkeit betrug in den günstigen Fällen 4 bis 5 m. p. s. Wesentlich größere Geschwindigkeit wird man überhaupt schwer erreichen können. Für sehr zweckmäßig und nicht zu schwierig für einen geübten Ballonfahrer würde ich es halten, wenn man vom Freiballon aus 4 bis 5000 m Höhe Registrierballons hoch ließe; es würde eine bedeutend größere Vertikalgeschwindigkeit und Höhe damit erreicht werden.

Eine größere Vertikalgeschwindigkeit als 5 m könnte man nach dem Platzen des Ballons beim Herabfallen des Instruments erreichen, indem man den Fallschirm sehr klein oder aus sehr dünner Gaze herstellt, wie dies bei einigen der Aufstiege hier geschehen ist. Die größte Geschwindigkeit, mit der bei einem der Hamburger Aufstiege das Instrument aus 17 000 m Höhe herunterfiel, war 13,2 m. p. s. Wahrscheinlich hat der Fallschirm versagt; das Instrument kam unbeschädigt in unsere Hände. Ein anderes Mal hat die Fußplatte des Instruments bei 9,5 m Fallgeschwindigkeit offenbar bei der Landung (Aufstieg 13) eine starke Durchbiegung erhalten. Die Aufzeichnungen waren in beiden Fällen gut.

f) Nachteile zu großer Vertikalgeschwindigkeit.

Andererseits müssen wir aber auch die Nachteile berücksichtigen, die eine zu große Vertikalgeschwindigkeit des Instruments für die Aufzeichnung zur Folge hat. Ein Registrierthermometer braucht, um die

Temperatur der umgebenden Luft anzunehmen, eine bestimmte Zeit, mindestens eine Minute, wie aus verschiedenen Versuchen festgestellt ist, bis der genügende Annäherungswert aufgezeichnet wird. Fällt nun das Instrument z. B. mit 12 m. p. s. durch die Luft, so hat es in einer Minute 720 m durchmessen, eine Höhendifferenz, in der sich die Temperatur schon um 7°, und bei Umkehrungen um weit mehr, geändert haben kann. Unsere aufgezeichnete Temperatur wird also der wirklichen erheblich nachhinken und die Maxima und Minima werden so abgeschwächt, daß sie quantitativ ganz falsche Resultate liefern; kleinere Unstetigkeiten werden überhaupt nicht bemerkt werden können.

g) Künstliche Ventilation.

Ein anderer Weg, stärkere Ventilation in der Höhe zu erreichen, besteht darin, einen künstlichen Ventilator mit Feder- oder elektrischem Antrieb am Thermometer anzubringen,[1]) wie es Assmann bereits versucht hat. Doch hinderte das große Gewicht des Aspirators bisher seine praktische Anwendung, zumal wegen der Luftverdünnung oben, wenn der Aspirator oben ebensoviel Luft in Bewegung setzen soll, er sehr groß sein und überaus schnell laufen müßte. Etwa eine Stunde nach dem Aufstieg des Ballons, wenn dieser in die Höhe von über 10 km gekommen ist, müßte der Aspirator durch Uhrauslösung in Tätigkeit gesetzt werden; es würde fürs erste schon genügen, wenn das Thermometer nur während einiger Minuten stärker ventiliert würde, um zunächst den Unterschied gegen die Aufzeichnung vor- und nachher festzustellen.

Eine zweite, besonders von Teisserenc de Bort, angewandte sehr einfache künstliche Ventilationsmethode beruht darauf, den Ballon, der bei Teisserenc de Bort aus Papier ist, nicht kugelförmig, sondern länglich zu bauen. Beim Aufstieg rotiert er, bei richtiger Anbringung des Instruments, schraubenförmig ansteigend und setzt dadurch das an ihm hängende Instrument in kreisende Bewegung. Man könnte diese Methode wohl auch mit Vorteil bei dickeren Gummiballons anwenden. Die Aufstieggeschwindigkeit würde durch diese Gewichtszunahme nur ganz unbedeutend verringert werden.

h) Nachtaufstiege und Aufstiege bei Sonnenuntergang.

Schließlich hätte man eine stärkere Ventilation überhaupt nicht so sehr nötig, wenn man, wie ich sehr wünschen möchte, wieder mehr zu Nachtaufstiegen überginge, die allerdings größere Umsicht und Vorsicht beim Füllen und Hochlassen des Ballons erfordern. Die Verluste werden kaum größer sein als bei Tagesaufstiegen, da die meisten Ballons

[1]) Das Röhrenthermometer am Bosch-Registrierballon-Instrument würde wohl geeignet dafür sein.

doch erst nach dem Niederfallen gefunden werden. Bei unsern Aufstiegen ist nur dreimal das Fallen des Ballons gesehen worden.

Es ist durchaus nicht vorteilhafter die Registrierballons bei Sonnenaufgang, oder selbst eine Stunde eher, hoch zu lassen als um die Mittagszeit. Die Strahlung in 12 km Höhe ist von der Höhe des Sonnenstandes, sobald diese positiv ist, fast gar nicht abhängig, da sich oberhalb überhaupt nur noch ein Fünftel der Atmosphäre befindet, welches die Sonnenstrahlen absorbieren und dadurch die Strahlung verringern könnte.

Die Mittagszeit ist insofern sogar günstiger als die Zeit um Sonnenaufgang, als dann das Instrument auch schon in den unteren Schichten stark bestrahlt wird und der Strahlungsunterschied gegen oben bei weitem nicht so überaus groß, ja sogar ziemlich klein ist, was für den Vergleich der unteren und oberen Schichten von Wert sein dürfte. Es ist auf diese Umstände wohl bisher zu wenig geachtet.

Der Ballon braucht, wenn er 15 oder gar 20 km Höhe erreichen soll, allein zum Aufstieg etwa eine Stunde, meist sogar mehr. Außerdem kommt hinzu, daß schon in 12 km Höhe die Sonne eine Viertelstunde eher aufgeht als unten. Es bleibt also nichts anderes übrig, wenn man die Sonnenstrahlung vermeiden will, als mindestens zwei Stunden vor Sonnenaufgang den Ballon hochzulassen.

Sehr viel günstiger erscheint es mir, den Aufstieg bei oder kurz vor Sonnenuntergang auszuführen, da man dann die Vorbereitung, die Auflassung selbst und die Verfolgung mittels Theodolit[1]) noch bei Tageslicht vornehmen kann, ohne befürchten zu müssen, daß der Ballon oben noch bestrahlt wird. Dazu trifft sich günstig, daß die Atmosphäre meist klarer ist als am Morgen und gestattet, selbst nach Sonnenuntergang, die Ballons noch weit hinauf mit dem Auge oder Fernrohr zu verfolgen, wie ich mich selbst praktisch überzeugt habe.

i) Beurteilung der großen Temperaturumkehr in etwa 9500 m Höhe.

Nehmen wir nach den obigen Feststellungen (S. 79) 0,6 und wegen der vermehrten Sonnenstrahlung in der Höhe $0{,}6 \cdot 1{,}43 = 0{,}86$ m. p. s. Ventilationsgeschwindigkeit als für unsere Messungen ausreichend an, bei sehr gut gegen Sonnenstrahlung geschütztem Thermometer, so würde bei einer Aufstieggeschwindigkeit des Ballons von 5 m. p. s., wie wir sie gut erreichen können, die Ventilation genügen bis zur Höhe, in der der Barometerstand $b = 760 \cdot \frac{0{,}86}{5} = 114$ mm ist, also bis fast 14 000 m. Darüber ist die Ventilation zu gering, um wirklich zuverlässige Temperatur-

[1]) Vergl. auch den sehr praktischen und leicht durchführbaren „Vorschlag zur allgemeineren Verwendung von Pilotballon-Anwisierungen zu meteorologischen Zwecken“ von de Quervain, „Das Wetter“, Mai 1906, Berlin.

werte zu liefern, und zwar ist die Ungenauigkeit offenbar um so größer, aus je größerer Höhe die Angaben stammen. Andrerseits ist aber damit schon viel erreicht, selbst dann, wenn wir des nicht vollkommenen Strahlungsschutzes wegen diesen Grenzwert der hinreichend sicheren Temperaturangaben noch etwas reduzieren würden.

Außerdem lehrt uns auch selbst der Anblick und das Studium der Kurven, ihr geregelter Verlauf, vergl. z. B. Tafel 1, und im besonderen die Augustthermohypsen von vier bis fünf unabhängigen Stationen (Tafel 3 bis 5), daß bis mindestens 12 000 m Höhe — die Angaben nicht geplatzter Ballons ausgeschlossen — die Temperaturwerte ungefälscht durch prinzipielle Fehler und der Wirklichkeit entsprechend aufgezeichnet sein müssen, wie wir noch im folgenden erkennen werden.

Schließlich kommt noch ein Gesichtspunkt in Betracht, der uns in der Sicherheit der Temperaturangaben bis zu jener Höhe bestärken muß: In den mittleren Höhen sind durch die verschiedenen Arten der Beobachtungen, durch Drachen bis 6000 m[1]), im Freiballon bis 9000 m Höhe die gleichen Resultate wie mit dem Registrierballon erhalten worden; warum sollte man dessen Angaben nicht um einige hundert Meter darüber hinaus auch noch Glauben schenken wollen? Die höchste Freiballonfahrt des Luftschiffers Berson, bis 10 500 m Höhe, hat leider nicht die große Temperaturumkehr angetroffen, um deren Festlegung es sich im wesentlichen handelt. Aber auch ohne dies werden wir aus dem Vorhergehenden und noch mehr aus den folgenden Einzelbetrachtungen unzweifelhaft ersehen, daß eine starke Temperaturumkehr in etwa 9500 m Höhe fast regelmäßig zu finden ist, wie zuerst von Assmann und Teisserenc de Bort erkannt wurde; wie groß aber andrerseits die Amplitude ist und wo die obere Grenze der Umkehr liegt, hat aus den meisten bisherigen Beobachtungen nicht mit voller Sicherheit festgestellt werden können. Dies letzte wird man also in Zukunft vor allem ins Auge fassen müssen.

7. Die Temperatur in der Höhe. (Tafel 3—5.)

a) Höhentemperatur am 29. August und Beziehung zur Wetterlage.

In 200 m Höhe ist am 29. August, Tafel 3, die Temperatur an den vier Orten, von denen die Thermohypsen gezeichnet sind, bis auf wenige zehntel Grade die gleiche, wie überhaupt an dem Tage eine äußerst gleichmäßige Temperaturverteilung über ganz Nordwesteuropa herrschte.

---

[1]) Der höchste Drachenaufstieg in Hamburg erreichte 5500 m Höhe, vergl. Perlewitz „Hohe Drachenaufstiege etc.“, Annalen der Hydrographie etc., I., 1907.

Ähnlich ist es in der Höhe. In 2000 m ist die Temperatur an allen vier Orten genau + 0,5° und in 4000 m beträgt die größte Differenz nur 3°, in Paris — 11°, in Hamburg — 8°. Die Pariser- und Straßburger-Kurve laufen weiterhin parallel, bis sie in etwa 9500 m Höhe ein Minimum mit — 46° und — 45° finden. Die nun folgende Temperaturumkehr von 4° Erwärmung umfaßt die nächsten 1000 m; darüber nimmt die Temperatur langsam wieder ab und beträgt in der größten erreichten Höhe über Paris in 11 600 m — 45° und über Straßburg in 16 000 m — 47°. Die Lindenberger Kurve weicht über 6000 m von diesen beiden erheblich ab; sie zeigt überhaupt keine Temperaturumkehr und läßt in 8 bis 10 km Höhe eine auffallend warme, etwa 15° wärmere Luftschicht erkennen als über Paris und Straßburg.

Leider hat die Hamburger Aufzeichnung an diesem Tage in der Höhe versagt. Hamburg lag ebenso wie Lindenberg östlich von einem Minimum, hatte also die gleiche Wetterlage, so daß uns der Hamburger Aufstieg über die Lindenberger Aufzeichnungen größere Sicherheit hätte bringen können. Straßburg und Paris lagen südlich jenes Minimums. Es ist wohl möglich, daß diese Unterschiede der Wetterlage die großen Unterschiede der Temperaturverteilung in der Höhe bedingen können; es würde sich dann der Schluß ergeben, ohne ihn schon auf die Allgemeinheit ausdehnen zu wollen:

1. Im Süden und Südwesten des Minimums zeigt sich eine starke Temperaturabnahme in 4 bis 9 km Höhe, darüber in 9 bis 10 km Höhe eine Erwärmung von etwa — 46° auf — 42° und darüber wieder langsame Abnahme.
2. Im Osten des Minimums ist bei ziemlich gleichmäßiger langsamerer Temperaturabnahme erst in 13 km Höhe die Temperatur — 46° erreicht; es zeigt sich keine Umkehr bis 21 km Höhe, nur eine sehr langsame Abnahme von 12 km Höhe an.

b) Höhentemperatur am 30. August und Beziehung zur Wetterlage.

Am 30. August ist die Gleichmäßigkeit der vier Kurven untereinander, in die sich als fünfte die Münchner Kurve gut einreiht (Tafel 4), am größten. Sie verlaufen vom Erdboden bis 8000 m Höhe fast parallel, wo ihr größter Abstand in Straßburg — 38° und in Lindenberg — 45° ist. Weiterhin zeigen sie alle fünf ein Minimum der Temperatur in fast der gleichen Höhe, zwischen 8900 m in Paris und 9700 m in Straßburg. Dieser Umstand spricht offenbar in vollem Maße für die Richtigkeit und Glaubwürdigkeit der Thermometerangaben in dieser Höhe, trotzdem der absolute Wert des Minimums zwischen — 46° in Straßburg und — 56° in Lindenberg liegt. Das Mittel aus allen fünf Minima:

— 46°	in	9700 m	Höhe	über	Straßburg,
— 48°	„	8900 „	„	„	Paris,
— 49°	„	9200 „	„	„	Hamburg,
— 50°	„	9200 „	„	„	München,
— 56°	„	9300 „	„	„	Lindenberg
ergibt — 50°	in	9260 m	Höhe.		

An diesem Tage liegen alle 5 Stationen südlich und südwestlich des Minimums. Eine Verallgemeinerung ist natürlich aus diesem einen Beispiel nicht zulässig, die Tatsache ist jedoch für diese zwei Tage festgestellt, daß „im Süden und Westen des Minimums in der Höhe Temperaturumkehr bestand, im Osten dagegen, wenigstens am ersten Tage, nicht."

Größere Abweichungen der einzelnen Aufstiege untereinander finden wir in betreff der Größe und Höhenerstreckung der Temperaturumkehr. Bis 10 300 m steigt die Temperatur zwar noch durchweg, darüber aber fällt sie in Paris und München, während sie an den andern Stationen noch bis etwa 12 000 m Höhe mehr oder weniger stark steigt. Das Maximum der Temperatur zeigen: Paris und München mit — 42° in 10 400 und 10 300 m, Hamburg mit — 39° in 11 300 m, Lindenberg mit — 51° in 12 000 m und Straßburg mit — 43° in 12 700 m. Das Mittel ist danach — 43° in 11 300 m, so daß die mittlere Höhenerstreckung der Umkehr 11 300 — 9300 = 2000 m und ihre Größe 49° — 43° = 6° beträgt. Bis dahin scheinen die Angaben ziemlich sicher mit der Wirklichkeit übereinzustimmen. Über der Umkehrschicht scheint dann die Temperatur wieder langsam zu fallen oder annähernd konstant zu bleiben, doch müssen wir die Richtigkeit dieser Behauptung dahingestellt sein lassen, wie wir oben nachgewiesen haben, ganz abgesehen von der bereits erwähnten gänzlich fehlerhaften Aufzeichnung in Paris über 11 600 m Höhe. Selbst die gute Parallelität der 4 übrigen Kurven bis 17 000 m Höhe darf uns von der Richtigkeit nicht überzeugen. Der ständige Unterschied von 7° in dieser ganzen Schicht zwischen Hamburg und Lindenberg wird auch wohl zum Teil auf die Instrumente zu schieben sein.

c) Höhentemperatur am 31. August und Beziehung zur Wetterlage.

Die Thermohypsen vom 31. August (Tafel 5) zeigen die Temperaturumkehr in der Höhe noch ausgeprägter als die von den Vortagen. Wir befinden uns an allen vier Orten südwestlich vom Minimum (Tafel 2) und zum Teil schon im Übergangsgebiet zum Maximum. Die Wetterlage hat sich nicht wesentlich geändert und die Ergebnisse in bezug auf die Temperaturumkehr befinden sich auch mit den oben aufgestellten Sätzen

in Übereinstimmung, da alle Orte, soweit die Beobachtungen ausreichen, eine sogar verschärfte Umkehr zeigen. In größerer Höhe sind die Temperaturangaben ungenauer als an den Vortagen, da Hamburg von 11 800 m und Lindenberg von 13 000 m gänzlich unbrauchbar sind wegen Sonnenstrahlung oder mangelhafter Ventilation, wovon uns der Anblick der Kurven überzeugt, abgesehen davon, daß beim Hamburger Aufstieg durch Nichtplatzen des Ballons die mangelnde Ventilation in der Höhe erwiesen ist. Auffallend und interessant ist, daß diese zwei Orte schon in geringerer Höhe, in 8600 m, eine Temperaturdifferenz von 20° aufweisen, während sie sich in etwa 11 900 m Höhe nur um 2° unterscheiden! Besser stimmen die entfernter gelegenen Orte Lindenberg und Straßburg in bezug auf Temperaturminimum und Höhe der Umkehrschicht überein, denn an beiden Orten wird ein Minimum von etwa — 47° in 10 500 m Höhe erreicht. Die Größe und Höhenerstreckung der Umkehr ist an diesem Tage an keiner der Kurven festzustellen; beide scheinen größer geworden zu sein. „Es scheint also mit dem Vorübergehen einer Depression im Norden der Beobachtungsorte ein ständiges Wachsen der Temperaturumkehr stattgefunden zu haben."

8. Die Temperatur der unteren Luftschichten.

(Tafel 4 und Tabelle 2.)

Betrachten wir nun für die drei Tage noch die Temperaturverhältnisse der unteren Luftschichten, die vor allem am zweiten Tage auf bemannten Ballonfahrten und durch Drachenaufstiege von verschiedenen Orten aus erforscht wurden.

a) Der 29. August.

Am 29. August herrschte, wie schon gesagt, über all den Beobachtungsstationen auch in den unteren Schichten eine ziemlich gleichmäßige Abnahme der Temperatur von 0,65° für je 100 m. Allerdings erscheint dieser Gang etwas gestört beim Hamburger Ballonaufstieg durch eine langsamere Abnahme in 1600 bis 2500 m und beim Drachenaufstieg (Tabelle 2) eine Stunde später durch eine Isothermie in 2200 bis 2500 m, die sich aber bereits beim Drachenabstieg auf die Schicht von 2400 bis 2500 m reduziert hat.

b) Der 30. August.

Am 30. August finden wir eine Temperaturumkehr in unteren Schichten merkwürdigerweise allein in Hamburg, und zwar nur am Vormittag in 2600 bis 2800 m Höhe, von — 4° auf — 3°. Es hängt dies

sehr wahrscheinlich damit zusammen, daß Hamburg um diese Zeit zwischen dem Hauptminimum im Osten und einem Teilminimum im Westen lag (Tabelle 2). In der Höhe über dieser Umkehr werden die zwei Minima vermutlich zu einem verschmolzen gewesen sein, dessen Zentrum nicht weit von Hamburg gelegen haben wird, da der Ballon, der bei Windstille hoch ging, 11 Minuten lang fast senkrecht über dem Aufstiegsort verfolgt werden konnte und innerhalb zwei Stunden, während deren er 16 000 m Höhe auf und nieder zurücklegte, nur 14 km weit flog, so daß es bis zu jener Höhe fast windstill gewesen sein muß, wenn nicht, stärkere Winde vorausgesetzt, diese schichtweise aus entgegengesetzten Richtungen herrschten, was kaum anzunehmen ist. Erst am Nachmittag begann sich eine durchgehende nordwestliche Windströmung über Hamburg anzubahnen.

Auf Tafel 4b sind die wichtigsten Aufstiege vom 30. August, bis auf die 5 Registrierballonaufstiege der Tafel 4a, in doppeltem Maßstabe wie diese eingezeichnet. In London ist es im untersten Kilometer Luftschicht besonders kühl, über Paris dagegen am wärmsten, nämlich um 5° bis 7° wärmer als über London. Auch höher hinauf bis 6 km bleibt es über Paris ständig 6° bis 7° wärmer als z. B. über Hamburg und Lindenberg. Die beiden Freifahrten von Straßburg und Berlin aus, bis 5000 m Höhe, die sich nur um 1° bis 2° unterscheiden, halten die Mitte unter den 11 an diesem Tage gewonnenen Vertikalschnitten. Auch der Hamburger Drachenaufstieg bis 4800 m und der Pariser Registrierballonaufstieg vom Nachmittag dieses Tages bis 6000 m Höhe stimmen mit den Ergebnissen der Freifahrten und untereinander sehr genau überein. Die Abnahme der Temperatur für 100 m ist im untersten km 0,65°, von 1000 bis 4000 m 0,6° und darüber etwa 0,7°. Die allein in Hamburg am frühen Morgen durch den Registrierballon beobachtete Umkehr in 2600 m Höhe mit der besonders kühlen und daher schweren Luft darunter hängt, wie oben bereits angedeutet, mit der Sattellage Hamburgs zwischen dem Haupt- und Teilminimum ursächlich zusammen.

c) Der 31. August.

Am 31. August, wo, wie wir gesehen haben, die „große Temperaturumkehr“ am stärksten ausgeprägt ist, haben wir auch in den unteren Schichten die meisten Störungen. Der Hamburger Drachenaufstieg bis 4300 m (Tabelle 2) ergab Umkehrungen von 1° bis 2° Amplitude und nur geringer Mächtigkeit in 1700 m, in 2200 m und in 3500 m. Der Registrierballonaufstieg, der etwa eine Stunde früher diese Höhen durchmaß, zeigte eine Umkehr schon in 1000 m Höhe und eine zweite in

2600 m. Man sieht hieraus, wie schnell veränderlich diese Umkehrungen sind und wie sie aller Wahrscheinlichkeit im Laufe des Vormittags in der Regel in größere Höhen hinauf rücken. Diese letzte überaus wichtige und interessante Erscheinung habe ich auch sonst an zahlreichen Hamburger Drachenaufstiegen durch Vergleich von Doppelaufstiegen oder des Auf- und Abstiegs festgestellt. Der Lindenberger Drachenaufstieg vom 31. August ergab nur eine Umkehr in 1900 m; aus den übrigen 3 Registrierballonaufstiegen ist keine Unstetigkeit in der Temperatur zu ersehen, vielleicht nur wegen zu schnellen Durchfliegens der kleinen Störungsschichten. Über der oberen dieser Umkehrschichten, besonders über 3000 m, finden wir an diesem Tage (Tabelle 2) wieder einmal jene große Lufttrockenheit von wenigen Prozent, wie wir sie auf dem Erdboden in unserm Klima nie, in der freien Atmosphäre jedoch häufig, im Winter bisweilen schon wenige hundert Meter über dem Erdboden, antreffen.

Die Änderungen der Temperatur der unteren Luftschichten im Laufe der drei Tage ist sehr gering, wie besonders gut aus der Tabelle 2 ersichtlich ist.[1])

9. Übersicht der Temperatur über Mitteleuropa. (Tabelle 3.)

Zum Schluß sollen die Temperaturen der freien Atmosphäre über Zentraleuropa an den drei Tagen in einer Tabelle (Tabelle 3) im Überblick zusammengestellt werden.

Die schräggestellten Zahlen bedeuten Maxima und Minima der Temperatur.

a) Zeitliche Temperaturänderungen.

In Lindenberg und Straßburg scheint das Minimum vor der großen Temperaturumkehr im Mittel etwas höher zu liegen als über den andern Stationen, wie aus der untersten Reihe der Tabelle hervorgeht. Eine gesetzmäßige Änderung der Höhe der Temperaturumkehr im Laufe des 29. bis 31. August ist nicht zu erkennen. Wohl aber ersehen wir, daß die Änderungen der Temperatur von Tag zu Tag in der Höhe weit größer sein können als auf dem Erdboden. In 8000 m z. B., also noch unterhalb der großen Umkehr, ist die Temperatur in Lindenberg am 29. — 26°, am 30. — 45°, um am 31. wieder auf — 29° zu steigen. Selbst wenn die Temperaturaufzeichnungen nicht auf ein bis zwei Grad genau sein sollten, so bleiben die Unterschiede doch so gewaltig, daß an der Tatsache nicht zu

[1]) Vgl. auch den unter Tab. 3 zitierten Bericht, Seite 118.

Tabelle 3.

Temperatur über Mitteleuropa am 29. bis 31. August 1905[1]).

Höhe	Lindenberg[2])			Hamburg			Paris			Straßburg			München	Mittlere Temperatur			
	29.	30.	31.	29.	30.	31.	29.	30.	31.	29.	30.	31.	30.	29.	30.	31.	29.—31.
500	10	12	9	10	10	10	9	14	9	10	11	12	12	10	12	10	11
2000	2	2	1	0	0	1	0	4	2	0	1	3	3	0	2	2	1
4000	—9	—9	—5	—8	—12	—11	—11	—6	—11	—10	—10	—8	—9	—10	—9	—9	—9
6000	—17	—26	—16		—25	—30	—26	—21	—25	—21	—23	—21	—21	—21	—23	—23	—23
8000	—26	—45 *—57*	—29		—41 *—49*	—48 *—53*	—42 *—46*	—42 *—48*	—41	—36	—38 *—46*	—34	—41 *—50*	—35	—41	—38	—39
10 000	—36	—53	—42 *—47*		—46 *—39*	—42	*—42*	—43 *—42*		*—45* *—41*	—45	—44 *—46*	—45 *—42*	—41	—46	—43	—44
12 000	—42	*—51*	—40		—41	(—25)	—46	(—38)		—42	—43 *—42*	—41	—44	—43	—45	—40	—43
14 000	—47	—52 *—54*	(—33)		—43					—44	—45		—47	—46	—47	—	—46
16 000	—49	—53			—44					—47			—47	—48	—48	—	—48
Höhe der Temp.-Umkehr an den 3 Tagen km	—	9.3	10.7	—	9.2	8.6	8.7	8.9	—	10.0	9.7	10.4	9.2	—	—	—	—
Höhe der Temp.-Umkehr im Mittel .... m	10 000			8900			8800			10 000			9200	9400	9300	9900	9500

[1]) Die schrägen Zahlen sind die Minima und Maxima der Temperaturen, die in °C angegeben sind.

[2]) Die hier für Lindenberg angegebenen Zahlen konnten nach dem während der Drucklegung erschienenen Bericht von „K. Wegener über die Aufstiege in Lindenberg vom 28. bis 31. August 1905“ im I. Band der „Ergebnisse der Arbeiten des Kgl. Preuß. Aeronautischen Observatoriums, Braunschweig 1906“ gegenüber den Lindenberger Kurven auf Tafel 3 etwas — doch nur unwesentlich — verbessert werden.

zweifeln ist. Die Ursachen liegen vor allem in der vertikalen Verschiebung der Temperaturumkehrungen.

b) Örtliche Temperaturunterschiede.

Aber nicht nur die zeitlichen Änderungen der Höhentemperaturen über ein und demselben Ort, sondern auch die örtlichen Unterschiede der Temperatur können in der Höhe größer sein als auf dem Erdboden, wie uns der 31. August lehrt, an dem es nach den Aufzeichnungen in 8000 m Höhe über Lindenberg um 19° wärmer ist als über Hamburg. Weit geringere Unterschiede weisen Paris und Straßburg auf, deren Temperaturen sich auch von Tag zu Tag in der Höhe nur wenig ändern.

Es würde das gesetzte Ziel dieser Arbeit überschreiten, wenn ich mich hier auf weitere Erörterungen und theoretische Betrachtungen über die eventuellen Ursachen all der merkwürdigen Temperaturverhältnisse einlassen wollte.

Inhaltsübersicht.

I. Einleitung. Die internationalen Tage und die Beteiligung Hamburgs.

II. Übersicht über die Registrierballonaufstiege.

1. Aufstiegsort.
2. Tabellarische Übersicht der Aufstiege. (Tabelle 1.)
3. Platzen des Ballons.
4. Erreichte Höhe.
5. Der zurückgelegte Weg.
6. Die Fahrt des Ballons am 9. November. (Tafel 2.)
7. Die Fahrt des Ballons am 7. Dezember. (Tafel 2.)
8. Die Thermohypsen der Aufstiege. — Graphische Übersicht. (Tafel 1.)

III. Die internationalen Tage vom 29. bis 31. August 1905.

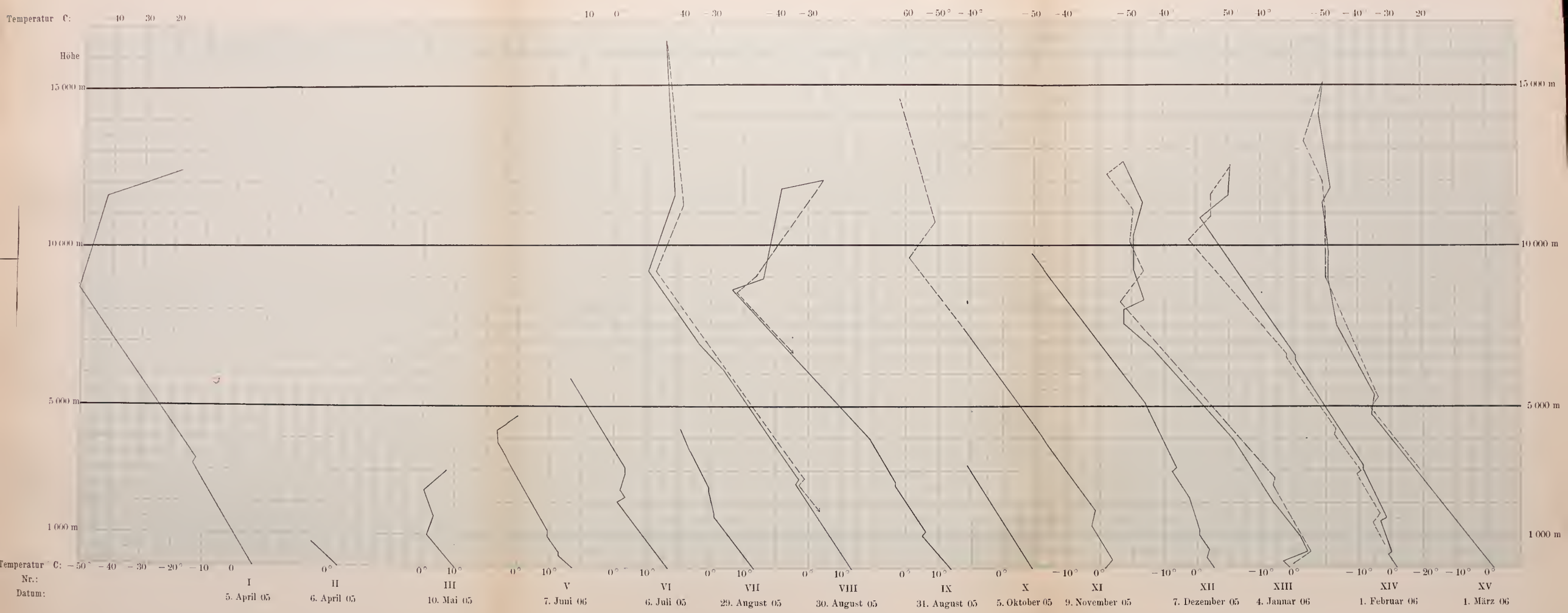
1. Wetterlage und Witterung in Hamburg. (Tafel 2.)
   a) Der 29. August.
   b) Der 30. August.
   c) Der 31. August.
2. Übersicht über die Ballon- und Drachenaufstiege in Hamburg.
3. Die Resultate aus den Drachenaufstiegen. (Tabelle 2.)
4. Die Beobachtung der partiellen Sonnenfinsternis.
5. Auswärtige Registrierballonaufstiege. (Tafel 3—5.)
6. Die Temperaturmessungen in der Höhe mittels Registrierballons.
   a) Ventilation und Sonnenstrahlung.
   b) Ventilation bei Temperaturmessung an der Erdoberfläche.
   c) Ventilation in 12 km Höhe.
   d) Die für die zu fordernde Genauigkeit notwendige Ventilation.
   e) Die Geschwindigkeit des Ballons beim Auf- und Abstieg.
   f) Nachteile zu großer Vertikalgeschwindigkeit.
   g) Künstliche Ventilation.
   h) Nachtaufstiege und Aufstiege bei Sonnenuntergang.
   i) Beurteilung der großen Temperaturumkehr in etwa 9500 m Höhe.
7. Die Temperatur in der Höhe (Tafel 2—5).
   a) Höhentemperatur am 29. August und Beziehung zur Wetterlage.
   b) Höhentemperatur am 30. August und Beziehung zur Wetterlage.
   c) Höhentemperatur am 31. August und Beziehung zur Wetterlage.
8. Die Temperatur der unteren Luftschichten (Tafel 4 und Tabelle 2.)
   a) Der 29. August.
   b) Der 30. August.
   c) Der 31. August.
9. Übersicht der Höhentemperatur über Mitteleuropa. (Tabelle 3.)
   a) Zeitliche Temperaturänderungen.
   b) Örtliche Temperaturunterschiede.

Eingegangen am 23. November 1906.

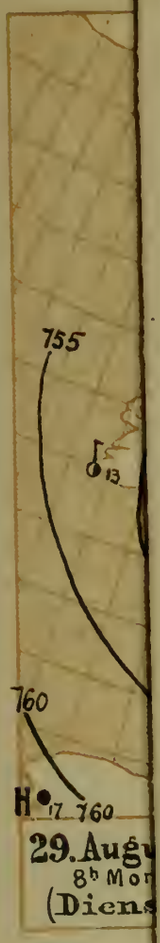
Gedruckt bei Lütcke & Wulff, E. H. Senats Buchdruckern.

Die Thermohypsen der Registrierballonaufstiege in Hamburg vom April 1905 bis März 1906.

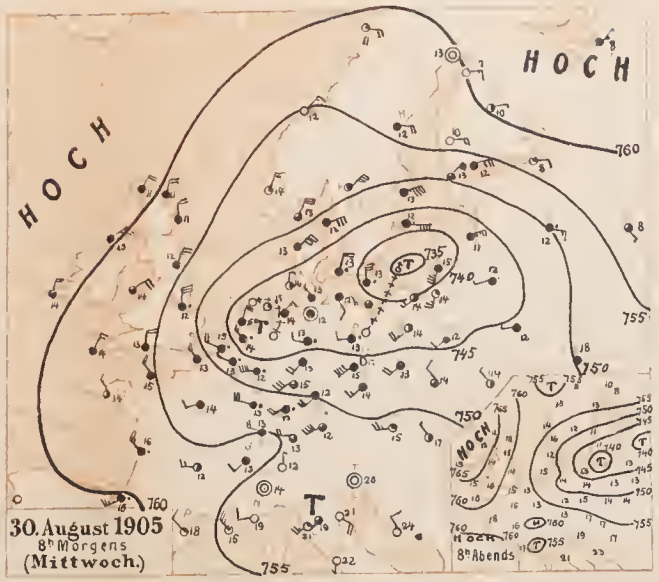
Tafel 1. *Jahrbuch der Hamb. Wissensch. Anstalten. XXIII. Beiheft 4.*

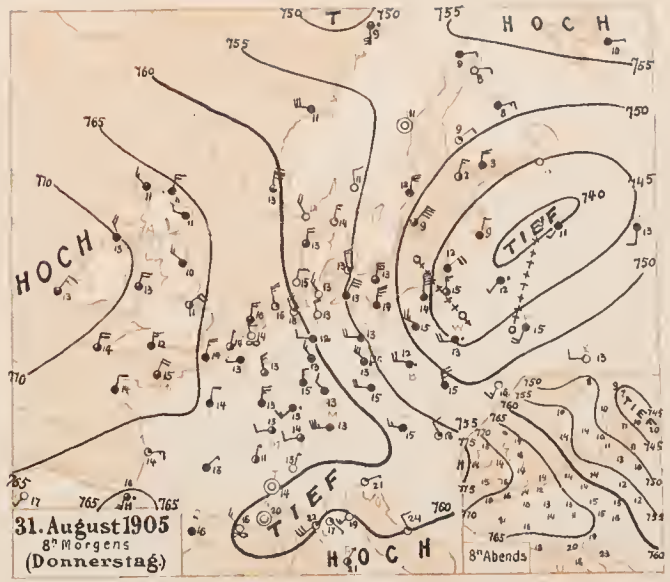


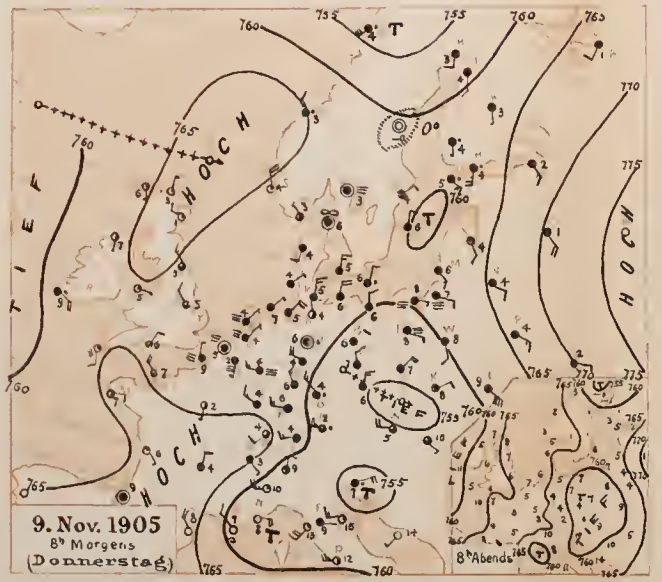
Tafel 2

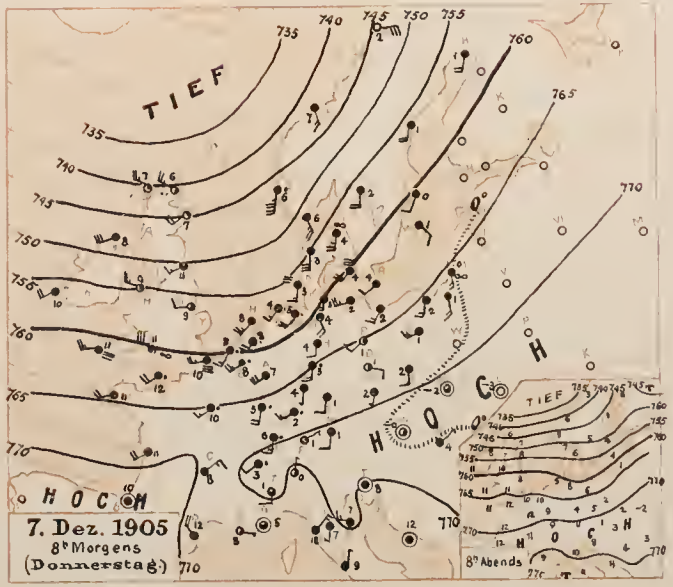


Synoptische Wetterkarten.

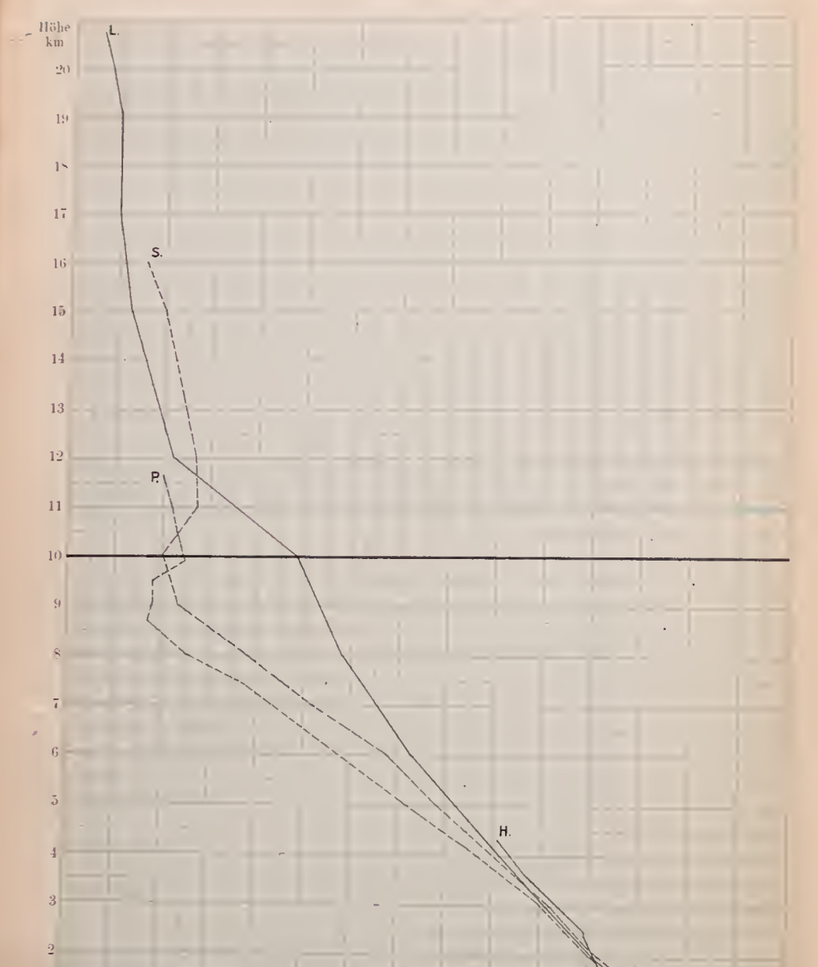






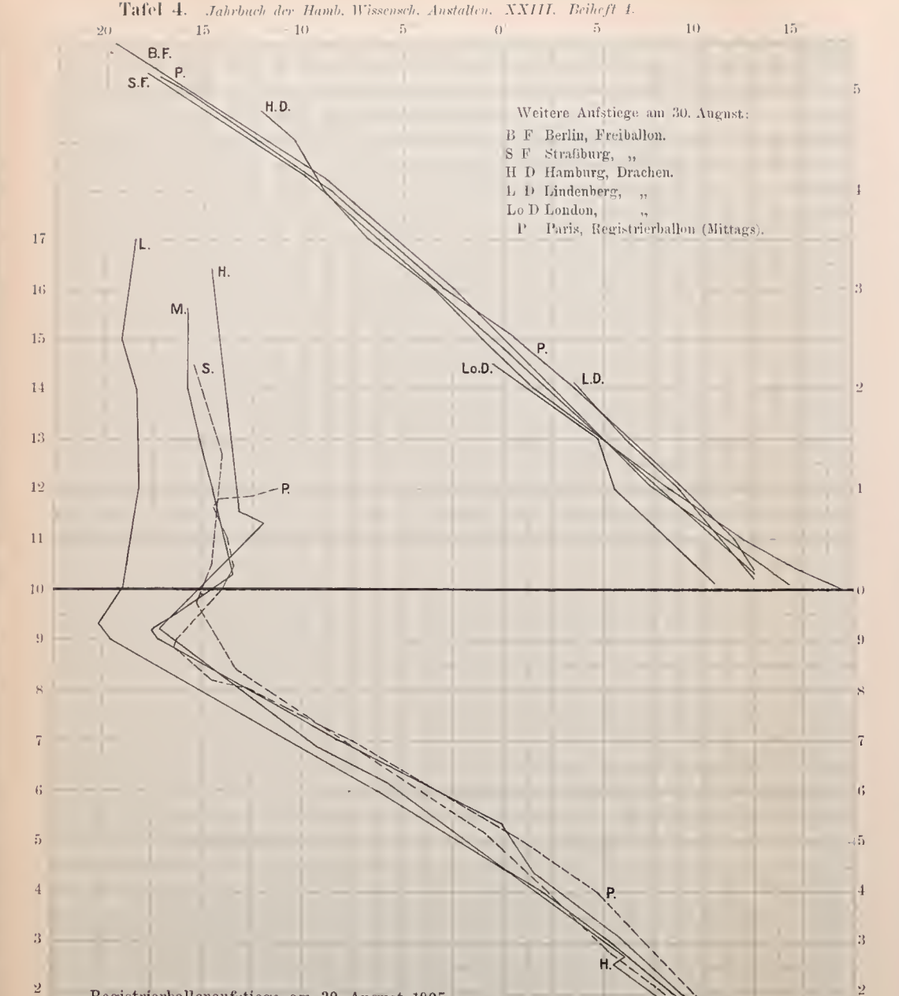


Tafel 3. *Jahrbuch der Hamb. Wissensch. Anstalten. XXIII. Beiheft 4.*



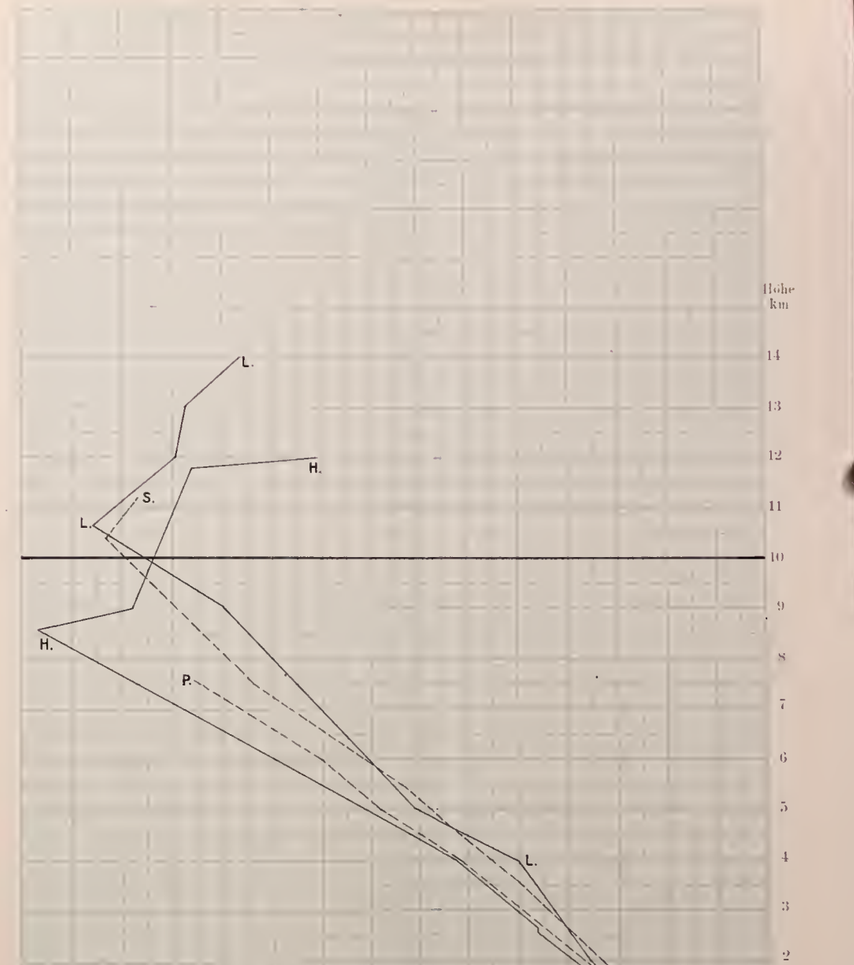
Registrierballonaufstiege am 29. August 1905.
H in Hamburg, L in Lindenberg, S in Straßburg, P in Paris.

Tafel 4. *Jahrbuch der Hamb. Wissensch. Anstalten. XXIII. Beiheft 4.*



Registrierballonaufstiege am 30. August 1905.
H in Hamburg, L in Lindenberg,
S in Straßburg, M in München, P in Paris.

Tafel 5. *Jahrbuch der Hamb. Wissensch. Anstalten. XXIII. Beiheft 4.*



Registrierballonaufstiege am 31. August 1905.
H in Hamburg, L in Lindenberg, S in Straßburg, P in Paris.

Gedruckt bei Lütcke & Wulff, E. H. Senats Buchdruckern.

3 0112 105671769